DAS PORZELLAN

ALS ISOLIR-U. KONSTRUK-TIONS - MATERIAL IN DER ELEKTROTECHNIK

IN STORE

STOKE-ON-TRENT
CITY
LIBRARIES
HORACE BARKS
Reference Library

IN STORE
PRICE

738.134 IN STORE
FRIESE

Das Porzellan

als

Isolier- und Konstruktionsmaterial

in der Elektrotechnik

(mit besonderer Berücksichtigung des Leitungsbaues).

Im Auftrage der

Porzellanfabrik Hermsdorf-Klosterlausnitz

unter Mitwirkung der Herren

Fabrikdirektor O. Arke, Oberingenieur A. Gobanz,
Oberingenieur C. Leichtenschlag, Oberpostinspektor O. Otto, Regierungsbaumeister R. Skutsch, Regierungsbaumeister E. Stechern,
Oberingenieur H. Wallem

herausgegeben von

Stoke-on-Trent Libraries
Approved for Sale

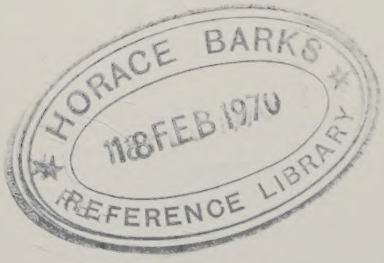
Rob. M. Friese.

738.134

Porzellanfabrik Hermsdorf-Klosterlausnitz S.-A.
1904.

STOKE-ON-TRENT
CITY
LIBRARIES

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, sind vorbehalten.



NOL.

Vorwort.

Als ich noch als Professor an der technischen Hochschule in München tätig war, hatte ich es übernommen, dieses Buch herauszugeben. Daß ich erst jetzt dieser Verpflichtung nachkomme, hat seinen Grund teils darin, daß meine Herren Mitarbeiter mehrfach wechselten, teils aber auch darin, daß ich selbst durch meinen wieder erfolgten Übertritt in die Praxis und durch die mir damit gewordene Arbeitslast nicht mehr die Zeit finden konnte, die Herausgabe so zu fördern, wie ich es gerne gewünscht hätte.

Nunmehr ist das Buch fertiggestellt und es ist mir eine angenehme Pflicht, den Herren Mitarbeitern für ihre Unterstützung zu danken, die ich um so höher schätze, weil auch sie in der Praxis stehend, die dem Buche gewidmete Zeit nur schwer erübrigen konnten. Desgleichen danke ich meiner Auftraggeberin für das angenehme Zusammenarbeiten und die mir trotz der Verzögerung stets erwiesene Nachsicht.

Zweck dieses Buches ist es, die Bedeutung, welche das Hartporzellan in der Elektrotechnik gewonnen hat, dem Fachmanne vor Augen zu führen, auf die Eigenschaften und Eigentümlichkeiten in der Herstellung dieses wertvollen Materiales aufmerksam zu machen und so dessen richtige und immer weitergehende Anwendung zu fördern. Da gute Isolatoren allein noch keine gute Leitungsanlage ermöglichen, so schien es angezeigt, auch den theoretischen und praktischen Leitungsbau zu berücksichtigen, woraus sich von selbst ergab, auch über die Rechtsbestimmungen elektrischer Leitungsanlagen einiges zu sagen.

Daß ein Buch, dessen Abschnitte von verschiedenen Mitarbeitern geschrieben, bei seinem ersten Erscheinen trotz einheitlicher Schriftleitung nicht den Eindruck einer vollkommen abgerundeten Arbeit machen kann, ist wohl selbstverständlich, ich hoffe indessen, daß der kritische Leser diesen Umstand nicht als wesentlichen Nachteil empfinden wird.

Berlin im Mai 1904.

Der Herausgeber.

INHALTSVERZEICHNIS.

Seite

I. Die Darstellung des Porzellans. Von O. Arke und C. Leichtenschlag 1
A. Geschichtliches 1
B. Technologisches 3
C. Die Arbeitsvorgänge 5
1. Das Schlemmen und Mischen 6
2. Das Drehen, Formen und Gießen 7
3. Das Stanzen oder Pressen 14
4. Das Glasieren 24
5. Das Brennen 26
6. Das Prüfen 32
II. Physikalisch-technische Eigenschaften des Porzellans. Von R. M. Friese 36
1. Spezifisches Gewicht 38
2. Saugvermögen 38
3. Schwindung 39
4. Ausdehnungskoeffizient 40
5. Kompressibilität 40
6. Mechanische Festigkeit 41
7. Elastizitätsmodul 41
8. Schallgeschwindigkeit 42
9. Härte 42
10. Wärmeleitungsfähigkeit 43
11. Spezifische Wärme 43
12. Elektrische Leitungsfähigkeit 43
13. Elektrische Durchschlagsfestigkeit 44
14. Dielektrizitätskonstante 46
III. Die Isolatoren in der Schwachstromtechnik (Telegraphie, Telephonie, Signalwesen). Von O. Otto 49
A. Geschichte 49
B. Formen 57
C. Lieferungsvorschriften 72
D. Prüfung und Prüfungsbedingungen 74
IV. Hochspannungsisolatoren. Von R. M. Friese 76
Die Randentladungen 77
Die Güteziffer 81
Wie wählt man die Betriebsspannung 83
Mit welcher Spannung ist gegen Durchschlag zu prüfen 85
Die mechanische Festigkeit 87

Seite
Die Oberflächenisolation 88
Verluste in Hochspannungsglocken 90
Stützen 94
Isolatoren aus Glas 97
Ölisolator 98
V. Der theoretische Leitungsbau. Von H. Wallem 100
A. Gegenseitiger Abstand der Drähte und Anordnung derselben mit Rücksicht auf Störungsfreiheit in der Telegraphie und Telephonie 101
a) Betrachtung einer Einzelleitung 102
1. Der effektive Widerstand 102
2. Der Koeffizient der Selbstinduktion 103
3. Die Kapazität eines Leiters gegen Erde 103
4. Die Ableitung 103
b) Mehrere Einzelleitungen 105
1. Stromübergang 105
2. Stützenladung 108
3. Elektrodynamische oder elektromagnetische Induktion . . . 108
4. Elektrostatische Induktion 109
c) Doppelleitung und Einzelleitung 111
d) Mehrere Doppelleitungen 114
B. Gegenseitiger Abstand der Drähte und Anordnung derselben mit Rücksicht auf Störungsfreiheit in der Starkstromtechnik 123
I. Elektromagnetische Induktion 123
a) Das Einphasensystem 123
b) Das offene Zweiphasensystem 132
c) Das verkettete Zweiphasensystem 136
d) Das Dreiphasensystem 136
II. Elektrostatische Induktion 145
III. Ableitung 155
C. Gegenseitige Anordnung von Stark- und Schwachstromleitungen auf demselben Gestänge mit Rücksicht auf Störungsfreiheit 157
D. Anordnung von Starkstromleitungen auf besonderen Gestängen in der Nähe von Schwachstromleitungen 161
VI. Der praktische Leitungsbau. Von O. Otto und E. Stechern . 163
A. Vorbereitungsarbeiten 164
B. Ausführungsarbeiten 165
1. Abpfählen der Linie 165
2. Verteilen der Baumaterialien auf der Baustrecke 165
3. Aufstellen der Stützvorrichtungen für die Leitungsdrähte . . 165
4. Vornahme der erforderlichen Ausästungen 167
5. Herstellung der Drahtleitung 167
C. Materialien 167
a) Masten 167
1. Hölzerne Masten 167
2. Eiserne Masten 179
3. Mastberechnung 186
b) Leitungsdraht 192
1. Eisendraht 192
2. Bronze-, Doppelmetall-, Kupferdraht u. s. w. 194
3. Verlegung des Leitungsdrahtes 199

Seite

4. Drahtverbindungen 207
5. Drahtbefestigung an den Isolatoren 209
c) Stützen und Befestigung der Isolatoren auf diesen 212
D. Stationseinführungen und Abzweigungen 214
E. Schutzvorrichtungen 216
1. Schutznetze, Schutzdrähte 216
2. Unterbrecher 216
3. Blitzableiter (Erdplatten) 217
VII. Hausinstallation. Von C. Leichtenschlag 223
Porzellan-Doppelklemmen 224
Die Rolle 225
Abzweigsockel 227
Wanddurchführungshülsen 229
Fassungen 230
Wandanschlußdosen 231
Glühlampenarmaturen 233
Installationssicherungen 234
Dosenschalter 238
VIII. Isolationsmessungen und Fehlerortsbestimmungen an elektrischen Anlagen. Von R. Skutsch 241
A. Allgemeine physikalische Begriffe 241
B. Allgemeines über Isolationsmessungen an elektrischen Anlagen . . 243
C. Isolationsmessungen an toten Leitern 244
D. Feherortsbestimmungen an toten Leitern 249
E. Isolaltionsmessungen und Fehlerortsbestimmungen während des Betriebes 254
IX. Die im Deutschen Reiche erlassenen Rechtsbestimmungen über Elektrizität. Von A. Gobanz 262
A. Betreffend Telegraphie und Telephonie 263
Schutz der Telegraphen- und Telephonleitungen gegen Störungen durch andere elektrische Leitungen 267
B. Betreffend die Starkstromtechnik 268
Rechtsverhältnisse der elektrischen Bahnen 270

Die Darstellung des Porzellans.

Von O. Arke und C. Leichtenschlag.

A. Geschichtliches.*)

Die Anfänge der Keramik, der Töpferkunst, reichen bis tief in die Urzeit, besonders mit bezug auf solche Stücke, die nur an der Luft und Sonne getrocknet sind. Die gebrannten Gefäße gehören schon einer etwas entwickelteren Zeitepoche an.

Einen wesentlichen Fortschritt verdankt die Technik der uralten Einführung der Töpferscheibe, die in den Nekropolen von Theben mit den noch heute üblichen Handgriffen veranschaulicht ist und deren Homer in der Iliade (8. Gesang) gedenkt.

Den Fortschritt der Technik verfolgend, finden wir bei den alten Ägyptern bereits in Form und Farbe auf einer gewissen Höhe stehende keramische Erzeugnisse mit ihren wunderbar schönen türkisblauen und bläulichgrünen Kieselglasuren, welche uns einen Beweis von den schon damals zu hoher Ausbildung gelangten, mittels Metalloxyden hergestellten Glasuren geben.

Einen abermaligen Aufschwung der Keramik finden wir in dem Gefäßreichtum des alten Griechenlandes, sowohl hinsichtlich des Geschmackes in der Formgebung der Gefäße, als auch des dekorativen Schmuckes derselben.

Während schon im alten Ägypten, im Orient, aber auch in anderen Gegenden, uns steingutartige Massen entgegentreten, finden wir die Steinzeugindustrie bei uns erst im 15. Jahrhundert in der Rheingegend und in den Niederlanden in der Entwickelung begriffen. Die Erzeugnisse bestehen meistens aus Krügen mit mehr oder weniger reichem, oft prachtvollem Reliefschmuck.

*) Vergl. Jaennicke, Geschichte der Keramik.

Die Fayencetechnik, welche von den Euphratländern zunächst nach Persien, von hier in das oströmische Reich und die Mittelmeerländer, durch die Araber im 10. und 11. Jahrhundert nach Sizilien, im 13. Jahrhundert durch die Mauren nach Spanien übertragen worden ist, finden wir im 15. Jahrhundert in Italien, woselbst sie sich durch Begünstigung vom hohen und reichen Adel zu einer hervorragenden Spezialität, den formen- und farbenprächtigen Majoliken, ausbildete, die im Zeitalter der Renaissance ihren Höhepunkt erreicht und im 17. und 18. Jahrhundert zu den gewöhnlichen Bedarfsgeschirren herabsinkt.

Während einige Städte, wie Rouen, Delft, Nürnberg u. a. noch immer künstlerisch hochstehende, nach diesen Städten benannte, charakteristisch ausgebildete Arbeiten liefern, sank die Industrie in Italien zum Beispiel auf die niedrigste Stufe herab.

Die ersten Versuche, echtes Porzellan herzustellen, finden wir gegen Ende des 16. Jahrhunderts, am Hofe von Florenz. Venetianer und Portugiesen brachten schon im 14. Jahrhundert das erste asiatische Porzellan nach Europa, und durch die Schönheit des Fabrikates und die demselben angedichteten Eigenschaften angelockt, waren Alchimisten im Auftrage von Fürsten eifrig an der Arbeit, ein dem echten Porzellan ähnliches Fabrikat herzustellen.

In Frankreich und England entstand auf diese Weise die Fabrikation der Frittenporzellane gegen Ende des 17. Jahrhunderts. Die erste Fabrik wurde in Rouen ins Leben gerufen. Dann folgte u. a. die Fabrik in Vincennes, welche, 1753 nach Sèvres (später Königliche Manufaktur) verlegt, in der Fabrikation des Frittenporzellans zu hohem Ansehen gelangte, so daß die Fabrikate aus damaliger Zeit noch heute mit ganz ungeheuerlichen Preisen bezahlt werden.

Der Verdienst, das erste Hartporzellan hergestellt zu haben, gebührt Böttcher, welcher im Jahre 1709 auf der Albrechtsburg bei Meißen die Fabrikation einrichtete, nachdem in der Nähe Kaolinlager entdeckt worden waren; 1766 folgte Sèvres, nachdem auch in Frankreich Kaolinlager aufgeschlossen worden waren.

Trotz strengster Maßregeln zur Wahrung der Fabrikationsgeheimnisse verbreitete sich dennoch die Fabrikation schnell nach allen Seiten, namentlich auf Anregung der Fürstenhäuser und des hohen Adels, welche großen Wert auf den Besitz von Porzellanmanufakturen legten.

Meißen, welches nach asiatischen Vorbildern arbeitete, beherrschte lange Zeit den europäischen Markt; nachdem aber der Rokokostil die

Oberhand gewonnen, übernahm Sèvres die Führung, dessen Geschmack dann wieder für Meißen vorbildlich wurde.

In England hatte sich bei Beginn des 18. Jahrhunderts die Fabrikation von Hartsteingut in hervorragender Weise ausgebildet und verbreitet, so daß das deutsche Porzellan für manche Gebrauchszwecke mit einer ziemlich scharfen Konkurrenz seitens der englischen Fabriken zu rechnen hatte.

Die Verwendung von Porzellan hat seit den letzten 50 Jahren an Ausdehnung bedeutend zugenommen, nachdem viele Zweige der Industrie die wertvollen Eigenschaften desselben erkannt und sich solche zunutze gemacht haben. In ganz hervorragender Weise ist es die Elektrotechnik, welche große Mengen von Porzellan konsumiert.

B. Technologisches.

Man unterscheidet in der Porzellanfabrikation zwei Hauptklassen, das Hartporzellan (über Fabrikation s. S. 5) und das Weichporzellan. Letzteres zerfällt wieder in zwei Gattungen, das französische (Frittenporzellan) und das englische (Knochenporzellan). Aus den in folgendem näher ausgeführten Gründen verdient, genau genommen, nur das Hartporzellan die eigentliche Bezeichnung „Porzellan". Es wird daher jedem Elektrotechniker einleuchten, daß auch nur das Hartporzellan geeignet und berufen ist, in der Elektrotechnik Verwendung zu finden, ganz besonders für Hochspannungszwecke, und in Fällen, wo es neben der guten Isolation auch auf die mechanische Festigkeit ankommt.

Das Hartporzellan besteht hauptsächlich aus Porzellanerde, auch Kaolin genannt*), und aus Feldspat mit einer Beimengung von Quarz. Die Porzellanerde oder Kaolin ist der unschmelzbare, der Feldspat dagegen der schmelzbare Bestandteil des Porzellans. Kaolin ist ein unter dem Einflusse der Luft, des Wassers und der Kohlensäure entstandenes Verwitterungsprodukt kieselerdiger Urgesteine, wie Granit, Porphyr, und es bildet eine chemische Verbindung von Kieselerde und Tonerde, vermengt mit Beimischungen des Gesteins, aus welchem es entstanden ist. Der Feldspat dagegen ist ein primäres Naturprodukt und besteht aus einer chemischen Verbindung zweier kieselsauren Salze, der kieselsauren Tonerde und des kieselsauren Kali, welche die für das Porzellan nötige Eigenschaft besitzen, bei hoher Temperatur

*) Nach der chinesischen Halbinsel Kaoli (Korea).

zu einem emailleartigen Körper zu verschmelzen (vergl. S. 36). Das Verhältnis bei der Mischung der schmelzbaren und unschmelzbaren Bestandteile des Hartporzellans ist in den verschiedenen Fabriken verschieden, ebenso wie die Temperatur im Ofen nach dem durch den Versatz der Masse bedingten Härtegrad des Porzellans zwischen 1500 bis 1700° C schwankt. Die charakteristischen Eigenschaften des Hartporzellans bestehen in der großen Härte und Festigkeit des Materials, in dem durchscheinenden und klingenden Scherben, dem weißen, ins Bläuliche scheinenden, muscheligen und speckigen Bruch, in der Widerstandsfähigkeit gegen hohe Hitzegrade sowie gegen schroffe Temperaturwechsel und in der absoluten Unempfindlichkeit gegen Feuchtigkeit und chemische Einflüsse.

Entsprechend dem Versatz der Masse verhalten sich auch die Bestandteile der Glasur. Dieselbe darf keinerlei Beimischungen von Bleioxyden enthalten, denen bekanntlich die Eigenschaft innewohnt, den Schmelzpunkt herabzusetzen. Sie besteht meistens aus einer Mischung von Porzellanerde und Kieselverbindungen, wie Feldspat, Gips, Kalk, und ist in jeder einzelnen Fabrik, wie der Versatz der Masse, verschieden.

Das Aufbrennen der Glasur erfolgt beim Hartporzellan in einem Arbeitsgang mit dem geformten und zuvor verglühten Stück durch den Gar- oder Glattbrand.

Das französische oder Frittenporzellan ist dem äußeren Ansehen nach ein dem Hartporzellan ähnliches Fabrikat. Die Bezeichnung „Weichporzellan" rührt von der leichten Schmelzbarkeit (za. 900—1000° C) her. Wenngleich die Härte des Frittenporzellans dem echten Porzellan ziemlich nahekommt, so ist doch die Widerstandsfähigkeit desselben namentlich gegen schroffe Temperaturwechsel sehr gering.

Die charakteristischen Eigenschaften des Frittenporzellans bestehen in dem glasartigen, durchsichtigen Scherben, der spröde und empfindlich wie Glas und von glattem Bruch ist. Infolge der geringen Brenntemperatur können jedoch die mannigfachsten Farbtöne, die sonst beim Hartporzellan „auf Glasur" eingebrannt werden müssen, zu Unterglasuren verwendet werden. Die Masse des Frittenporzellans besteht aus einem Gemenge von Kalialaun, Soda, kohlensaurem Kalk und Sand.

Das englische Porzellan, infolge seines großen Gehaltes an Knochenasche auch Knochenporzellan genannt, ist in seinen Eigenschaften noch minderwertiger als das französische oder Frittenporzellan.

Dasselbe wird (umgekehrt wie beim Brennen des Hartporzellans) zunächst glatt gebrannt bei einer Temperatur von za. 900—1000 ° C, und dann in einem zweiten Feuer von geringerer Temperatur wird die Glasur aufgebrannt. Da die Glasur demnach leichtflüssiger und von anderer Ausdehnung ist als die Masse, so ist die geringe Haltbarkeit der ersteren erklärlich. Sie zeigt schon nach kurzer Zeit beim Gebrauch zahlreiche Risse, worunter nicht nur das Ansehen des Stückes leidet, sondern auch die Gebrauchsfähigkeit wesentlich beeinträchtigt wird. Die Weichheit der Glasur andererseits gestattet aber die Verwendung zarter, oft blendend schöner Farbentöne zur Dekoration. Auch ist es erklärlich, daß sich infolge der geringen Brenntemperatur komplizierte Formstücke leichter und mit geringerem Ausfall und dadurch auch weit billiger herstellen lassen als aus Hartporzellan. Die charakteristischen Eigenschaften des Knochenporzellans bestehen in der geringen mechanischen Festigkeit, bedingt durch den mürben Scherben, welcher weder durchsichtig noch klingend ist, und dessen Bruch, graugelb und von rauher, sandiger Beschaffenheit, Feuchtigkeit aufsaugt. Gegen schroffe Temperaturwechsel und Chemikalien besitzt dasselbe keine Widerstandsfähigkeit. Das Knochenporzellan besteht aus Kaolin und plastischem Ton, dem als Schmelzmittel Cornish-Ston (Pegmatit, ein stark mit Kalk durchwachsener Feldspat), Gips und Knochenasche beigemengt sind. Die Glasur enthält Granit, Glimmer, Kreide, Feuersteine, Borax und einen Zusatz von Bleioxyd.

Von den Fabriken, welche sog. Hartporzellan anfertigen, gibt es in Deutschland viele, die ein den Eigenschaften des wirklichen Hartporzellans in keinerlei Beziehung ebenbürtiges Fabrikat liefern. Für den täglichen Gebrauch im Haushalt mag diese minderwertige Ware der Billigkeit halber Verwendung finden. Wo es sich aber darum handelt, Porzellan für elektrische Zwecke zu verwenden, sollte man unbedingt nur erstklassiges Fabrikat in Betracht ziehen.

C. Die Arbeitsvorgänge.

Im Maschinenbau werden beim Entwerfen von Gußstücken aus Eisen oder anderen Metallen mit Rücksicht auf die Fabrikation ganz bestimmte und allgemein bekannte Regeln beachtet, die zumeist durch das Verhalten des Metalles beim Erkalten und das dadurch eintretende Schwinden bedingt werden. Da nun das Porzellan durch den Brennprozeß etwa fünfzehnmal mehr schwindet wie z. B. Gußeisen, so ist es erklärlich, daß der Konstrukteur von Porzellanteilen auf die Fabrikation

weit größere Rücksicht nehmen muß, wie der Maschinenbauer auf seine Metall- oder Eisengußstücke. Aus diesem Grunde und weil die eigenartige Herstellungsweise des Porzellans eine so mannigfache Formgebung wie beim Metallguß verbietet, ist es wünschenswert, daß sich jeder Konstrukteur von Porzellanteilen von vornherein über das Maß seiner Beweglichkeit bezüglich Formgebung informiert, weil er dann sich manche Enttäuschungen und seinem Porzellanlieferanten viele Schwierigkeiten erspart und brauchbare, preiswerte Porzellanteile bekommen wird.

Die Operationen, welche bei der Fabrikation des Hartporzellans zur Anwendung kommen, zerfallen im wesentlichen in folgende Stufen:

Die Vorbereitung der Masse durch Schlemmen und Mischen,
das Drehen, Formen, Gießen und Stanzen der Masse,
das Glasieren,
das Brennen der geformten Stücke.

Das Bemalen der fertigen Stücke gehört einem besonderen Verfahren an.

1. Das Schlemmen und Mischen.

Wie schon oben gesagt, besteht die Masse des Hartporzellans hauptsächlich aus Kaolin, Feldspat und Quarz. Das Kaolin oder die Porzellanerde wird von den Gruben in bröcklichen Stücken geliefert, welche durch Schlemmen von den Unreinheiten befreit werden müssen. Der dazu bestimmte Apparat besteht entweder in einem System von zickzackförmig angeordneten Rinnen mit geringem Gefälle oder aus einer Reihe von Schlemmbottichen, welche übereinander angeordnet sind. Im obersten Bottich wird durch fortgesetztes Kneten und Rühren im Wasser das Ausschlemmbare von dem Nichtausschlemmbaren getrennt, wobei alles Gestein sowie alle gröberen, unreinen Bestandteile zurückgehalten werden, während die mit den sandartigen feinen Teilen und dem eigentlichen Kaolin gesättigte Flüssigkeit aus einem einige Centimeter über dem Boden angeordneten Zapfloch in die nächsten, tieferliegenden Gefäße abfließt. Nach einiger Zeit der Ruhe in den letzteren sinkt der Sand vollständig zu Boden, und die Flüssigkeit nimmt allein das Kaolin mit in die untersten Bottiche. In diesen setzen sich die Kaolinteile allmählich zu Boden und bilden einen dünnflüssigen Schlamm, über welchem das Wasser sich sammelt, das nach beendeter Klärung abgelassen wird.

Das Schlemmen des Feldspates geschieht in ähnlicher Weise, je-

doch mit dem Unterschied, daß derselbe, da er in festen Steinstücken gewonnen wird, erst zerkleinert und mit Wasser gemahlen wird.

Die anderen Beimischungen, wie Quarz, Sand, werden ebenfalls durch Waschen gereinigt. Hat man auf diese Weise die Bestandteile der Porzellanmasse vorbereitet, so werden dieselben in einem bestimmten Gewichtsverhältnis gemischt.

Um eine innige Vermischung der Bestandteile zu erzielen, wird der sogenannte Versatz in großen Behältern durch fortgesetztes Umrühren oder in rotierenden Trommeln gemischt. Zum Zweck der Entwässerung des schlammartigen Gemenges wird alsdann die Flüssigkeit vermittels Membranpumpen durch Filterpressen gedrückt. Die

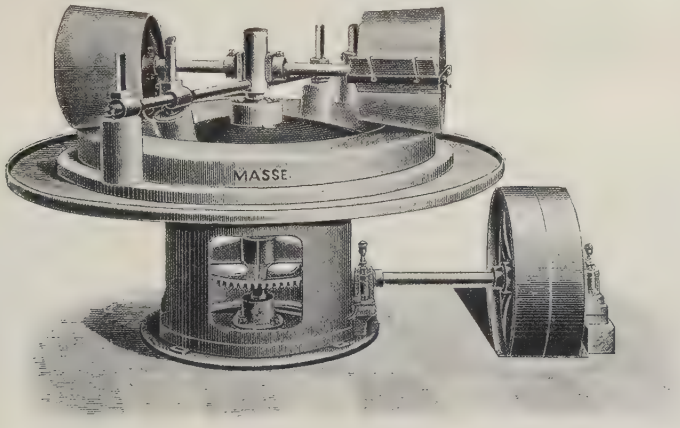


Fig. 1.

aus den Filterpressen gewonnenen Massekuchen werden in möglichst kühlen, feuchten Lagerkellern untergebracht, in welchen die Masse durch längeres Lagern an Homogenität und Bildsamkeit gewinnt (die Masse fault). Zu letzterem Zweck wird die Masse außerdem noch vor ihrer Verarbeitung vermittels eigens dazu konstruierter Masseschlagmaschinen (Fig. 1) durchgeknetet.

2. Das Drehen, Formen und Gießen.

Das Drehen und Formen der Masse ist bei der Fabrikation die am meisten vorherrschende Behandlungsart. Bei der Mannigfaltigkeit der Fabrikate ist es aber erklärlich, daß nicht alle Gegenstände auf ein und dieselbe Art gefertigt werden können; es haben sich infolgedessen auch noch andere Methoden herausgebildet, wie das Gießen

und das Stanzen der Masse. Zu allen Methoden, außer dem Stanzen, werden Gipsformen verwendet. Der Gips ist überhaupt mit der Porzellanfabrikation so eng verwachsen, daß man sich diese ohne ihn gar nicht denken kann.

Zur Herstellung der nötigen Gipsformen gehört in allen Fällen zunächst ein Modell. Dieses wird in der Regel ebenfalls aus Gips hergestellt, dasjenige eines Isolators z. B. auf folgende Weise:

Auf den Kopf a der Modellierscheibe (Fig. 2) wird ein Gipsklumpen gegossen und dieser in die (Fig. 2a) gewünschte Gestalt b gebracht. Zugleich mit dem Modell wird die für die weitere Bearbeitung erforderliche Modellplatte c gedreht, so daß diese mit dem Gipsmodell ein Ganzes bildet.

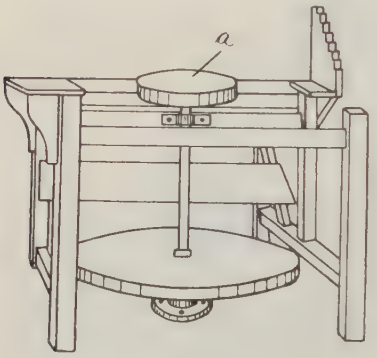


Fig. 2.

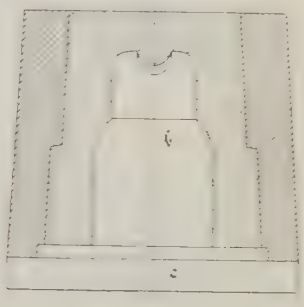


Fig. 2a.

Um nun von diesem Modell einen Abguß, die Form, herzustellen, wird um die Modellplatte ein Mantel von Zinkblech gelegt, dessen Höhe das Modell um so viel überragen muß, als der Boden der Form stark sein soll. Der Hohlraum zwischen Modell und Mantel wird nun mit einem Gipsbrei ausgegossen und dieser, nachdem er erhärtet ist, in einer bestimmten Form abgedreht. Um diese Form wird alsdann ein zweiter Mantel gegossen, welcher den Zweck hat, allen Formen die gleiche Stärke und Art zu geben. Der Mantel läßt sich, wenn die Außenseite der Form mit Seife eingeschmiert ist, leicht abheben, ebenso auch die Form vom Modell.

Hat das Modell eine Gestalt, welche bauchig ist oder z. B. der Fig. 3 entspricht, so ist es nicht möglich, die Form als ein Ganzes vom Modell zu nehmen, sondern sie muß gesprengt werden in zwei, drei oder auch mehr Teile. Formen, welche aus mehr als zwei Teilen

bestehen, müssen noch mit einem besonderen Gipsmantel versehen sein, welcher die einzelnen Formenteile bei der Arbeit eng zusammenhält. Dieser Mantel ist in derselben Weise zu gießen wie jede Form, damit er genau in den Ring paßt, der zum Arbeiten auf dem Scheibenkopf befestigt ist.

Zum Drehen der Porzellangegenstände werden außer den sogenannten Schubscheiben (Fig. 2), welche mit den alten Töpferscheiben identisch sind, auch noch mechanische Drehscheiben verwendet (Fig. 4). Die letzteren eignen sich vorzugsweise für kleinere Gegenstände.

Die Masse wird, nachdem sie aus den Massekellern vermittels Elevatoren in die Dreherei geschafft ist, noch einmal mit der Hand

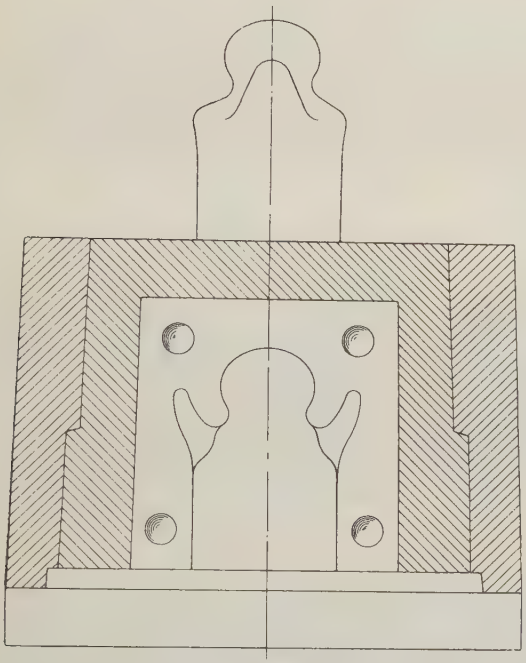


Fig. 3.

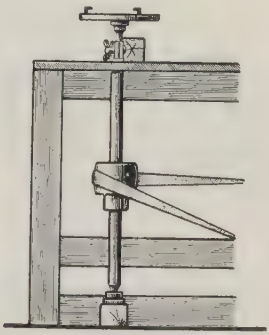


Fig. 4.

gründlich durchgeschlagen, um sie möglichst blasenfrei und vollkommen homogen zu gestalten. Nachdem die Masse auf diese Art zum Verarbeiten fertiggestellt ist, wird sie in runden, mäßig großen Ballen hochstehend auf die Scheibe gestellt, und der Dreher beginnt nun noch einmal diese Masseballen einzeln durchzuarbeiten, indem er mit beiden Händen bei rotierender Scheibe dem Masseballen die Form von Kegelstumpfen zu geben sucht, deren Größe dem Hohlraum der Form des zu fertigenden Porzellanstückes etwa entspricht. Diese Tätigkeit nennt man in der Porzellantechnik „das Hubeldrehen“ oder „das Aufdrehen“. Es hängt viel von der Geschicklichkeit des Ar-

beiters ab, dieses Hubeldrehen richtig zu behandeln, weil hierauf die meisten Fehler zurückzuführen sind, die sich später im Laufe der Fabrikation zeigen.

Die in der Technik am häufigsten gebrauchten gedrehten Porzellanstücke sind die Glockenisolatoren. Die einzelnen Glocken werden für sich gefertigt; z. B. besteht der nebenstehende, im Durchschnitt abgebildete Doppelglockenisolator (Fig. 5) aus dem inneren Teil (der Hülse) a und dem äußeren stärkeren Mantel mit Kopf b. Die Herstellung der Isolatoren gestaltet sich folgendermaßen:

Sobald eine Anzahl Hubel geformt sind, werden die bereitstehenden Formen damit ausgefüllt. Der Hubel wird alsdann mit Hilfe von

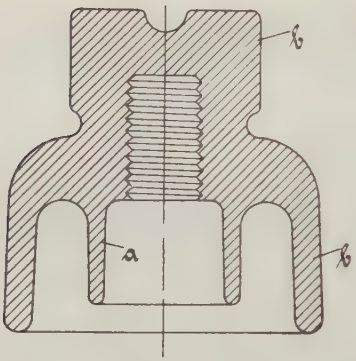


Fig. 5.

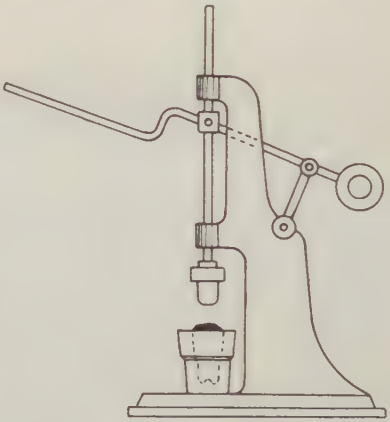


Fig. 6.

Handpressen nach beifolgender Abbildung (Fig. 6) einem genügenden Druck ausgesetzt, um ihm äußerlich die Gestalt der inneren Gipsform zu geben; hiernach wird die Gipsform auf eine zweite Scheibe gesetzt, auf welcher unter fortwährender Umdrehung der Scheibe vermittels einer Schablone aus Messing- oder Stahlblech im eingepreßten Hubel der Umriß der inneren Wandung des zu bildenden Isolators eingeschnitten wird. Gleichzeitig erhält hierdurch das Stück die erforderliche Scherbenstärke.

Man benutzt für diese Arbeit sogenannte Schablonenböcke (Fig. 7), die aus einem Arm bestehen, an welchem die Schablone angeschraubt wird und der an einem höher und niedriger stellbaren Ständer mittels Scharniers sich bewegen läßt.

Auf einer dritten Scheibe wird vermittels einer Bohrvorrichtung (Fig. 8) in die noch weiche Masse des Isolators das Gewinde einge-

schnitten. Alsdann wird die zweite Glocke (Hülse a, Fig. 5), welche vorher extra geformt worden ist, eingesetzt und mittels Schlicker*) „angarniert". Der vierten Scheibe endlich fällt die Aufgabe zu, den Isolator fertig zu machen. Zu diesem Zwecke wird der bis jetzt noch in der Gipsform befindliche Isolator aus derselben herausgenommen, was sich sehr leicht bewerkstelligen läßt, weil der Gips vermöge seiner Porosität mittlerweile einen Teil des in der Masse befindlichen Wassers aufgesaugt hat, diese also etwas geschwunden ist. Der Isolator wird nun in umgekehrter Richtung, wie er sich in der Gipsform befunden hat, d. h. mit der offenen Seite nach unten, auf einen aus Gips geformten und auf dem Scheibenkopf befestigten Dorn gesteckt (Fig. 9). An der äußeren Form, die er durch die Gipsform bereits erhalten hat, fehlt nur noch die Halsrille; diese wird jetzt bei Umdrehung der Scheibe mit Hilfe einer entsprechend

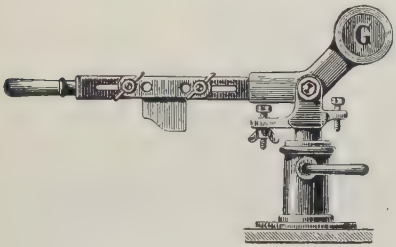


Fig. 7.

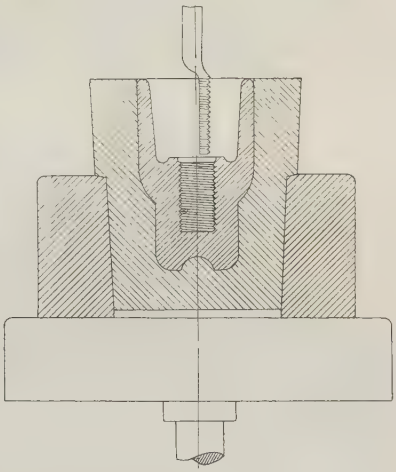


Fig. 8.

geformten Stahlschablone eingeschnitten. Als letzte Arbeit wird die Außenseite noch mittels dünner, leicht biegsamer Stahl- oder Hornspachteln poliert.

Die in der Technik für Hochspannungsleitungen allgemein gebräuchlichen Mantelisolatoren werden in der gleichen Weise gefertigt.

Fig. 10 zeigt eine Deltaglocke im Durchschnitt, bei welcher die inneren Mäntel A, B, C, extra geformt und bei A_1 B_1 C_1 angarniert sind. — Krückenisolatoren (Fig. 65 S. 63) oder Isolatoren mit Flanschen am Kopf werden in gleicher Weise hergestellt. Die Krücke oder der Flansch werden besonders geformt und angarniert.

Ein anderes, häufig vorkommendes Porzellandrehstück ist der

*) Schlicker ist flüssige Masse.

Widerstandszylinder (Fig. 11). Diese Körper werden nicht auf einer gewöhnlichen Dreherscheibe, sondern auf einer Horizontalabdrehbank, einer der Mechanikerdrehbank ähnlichen Vorrichtung, mit horizontaler Spindel hergestellt. Das Gewinde wird mit Hilfe einer Blechschablone in den vorher mittels Gipsform hergestellten rohen Porzellanzylinder geschnitten in der Weise, daß das hintere Ende der

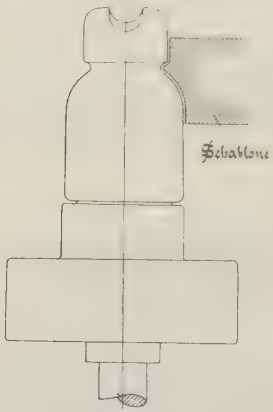


Fig. 9.

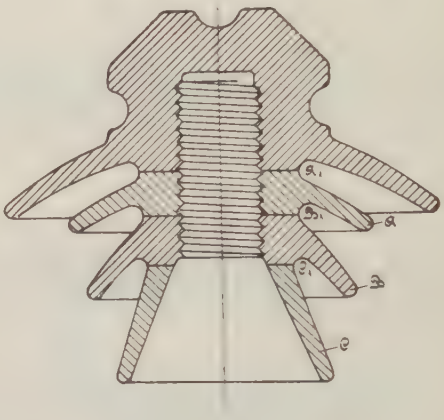


Fig. 10.

Schablone in eine auf der Drehbankspindel befindliche Patrone eingreift und von dieser entsprechend der Steigung der Spindel während der Rotation des Zylinders verschoben wird. Etwaige Durchführungslöcher an den Widerstandszylindern wie auch an anderen Porzellanstücken werden nicht mit Hilfe von Stiften oder Bohrern, sondern

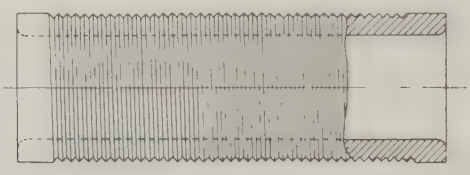


Fig. 11.

mittels dünnwandiger Metallröhren hergestellt, weil diese den Abfall der Masse in ihren Hohlraum aufnehmen können.

Erwähnenswert ist noch, daß sich ein langer Drehkörper mit einem kantigen, in der Längsrichtung durchgehenden Loch beim Brande leicht verzieht. Solche Löcher müssen daher vom Konstrukteur der Vorsicht halber möglichst weit gehalten werden.

Unter Umständen kann es auch nötig werden, einen Porzellankörper von komplizierter Form aus gedrehten und gestanzten Teilen zusammenzusetzen. Wenn z. B. die Anfertigung von Matrizen für alle Teile eines solchen Körpers sich zu teuer stellen würde, nimmt man zu dieser Methode seine Zuflucht, obwohl die Fabrikation selbst sich dabei oft durch einen größeren Ausschuß verteuert, der um so größer wird, wenn die Schwindungsverhältnisse der zusammenzusetzenden Teile nicht genau übereinstimmen.

Auf der bis jetzt besprochenen Dreherscheibe lassen sich, abgesehen von der Ovaldreherei, nur Gegenstände von Rotationsform anfertigen, wohingegen die Herstellung von Gegenständen, die von der Kreisform abweichen, in der Regel durch das Formen (Quetschen) vorgenommen wird (Fig. 12).

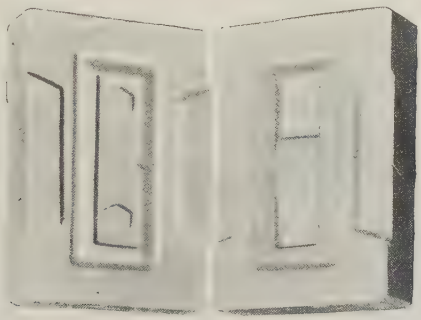


Fig. 12.

Die Masse wird zu diesem Zweck in Gestalt von Platten vorgearbeitet. Diese Platten werden über die geöffnete, aus zwei Teilen bestehende Gipsform gelegt und in dieselbe dergestalt hineingedrückt, daß alle Ecken und Winkel der Form sich vollkommen mit Masse ausfüllen. Alsdann wird die Form fest zusammengeschlossen und unter Druck gebracht. Die Masse nimmt dabei die Gestalt der inneren Wandungen der Form mit allen etwaigen Verzierungen an und das Stück läßt sich infolge Abschwindens der Masse durch die Aufsaugefähigkeit der Gipsformen nach kurzer Zeit mit Leichtigkeit herausnehmen. Um die Masse, welche beim Formen überschüssig ist, leicht vom Gegenstand abzutrennen, ist an der inneren Kante der Form eine sog. Quetschfuge angebracht. Wäre diese Fuge nicht vorhanden, so würde die überschüssige Masse ein enges Schließen der Form verhindern, wodurch die Stücke untereinander ungleiche Stärken erhielten. Formstücke von unregelmäßiger, verwickelter Ge-

stalt müssen aus mehreren Teilen geformt werden, die alsdann mittels Schlicker zusammengesetzt werden. Nicht selten ist es der Fall, daß solche Stücke aus einer größeren Anzahl einzelner Teile zusammengesetzt werden müssen.

Für das Gießen von Porzellanstücken werden gleichfalls Gipsformen benutzt. Die Formen für das Gießen der Masse bestehen meistens, wie die Quetschformen, aus zwei Teilen, nur daß bei diesen, je nach dem Gegenstand, auf der Schmal- oder Längsseite eine Öffnung zum Eingießen der breiigen Masse (des Schlickers) angebracht ist, während bei glatten, zylindrisch geformten Gegenständen die Formen nicht geteilt zu sein brauchen. Für elektrotechnische Zwecke kommen dabei hauptsächlich dünnwandige Hohlkörper von kasten- oder röhrenförmiger Gestalt (Fig. 13) in Betracht.

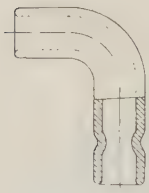


Fig. 13.

Das Gießen geschieht in der Weise, daß die Gipsformen mit Masse von der nötigen Dickflüssigkeit gefüllt werden und eine Zeitlang in Ruhe verbleiben, bis der Gips infolge seiner Porosität einen Teil der in der Masse enthaltenen Feuchtigkeit aufgesaugt hat. Es bildet sich auf die Weise, je nach der Länge der Ruhezeit und je nachdem öfter Schlicker nachgegossen wird, eine mehr oder weniger dicke, feste Massekruste an den inneren Wandungen der Form.

Ist auf diese Weise die gewünschte Stärke des Scherbens erreicht, so wird der Rest der Flüssigkeit ausgegossen und so lange gewartet, bis der Scherben so weit abgetrocknet ist, daß er sich tragen kann. Alsdann wird die Form geöffnet und das Stück herausgenommen, welches, um es fertigzustellen, dann nur noch verputzt, d. h. von Gratansätzen befreit zu werden braucht.

3. Das Stanzen und Pressen.

Die teigartige Porzellanmasse, wie sie aus dem Lagerkeller entnommen wird, ist für Preßarbeiten wegen ihrer Klebrigkeit unverwendbar. Die Masse wird daher, nachdem sie zu Ballen geformt ist, an warmen Stellen, z. B. in der Nähe der Brennöfen, oder an der Luft getrocknet und dann zu ganz feinem Pulver zermahlen. Da dieses Pulver, selbst unter hohem Druck gepreßt, nicht den nötigen Zusammenhalt bekommen würde, der für die späteren Manipulationen an dem Preßling erforderlich ist, wird ihr eine bestimmte Quantität Wasser zugesetzt und auch etwas Fett, das als Schmiermaterial beim

Herausheben aus der Form dient. Der Feuchtigkeitsgehalt für die zu gleichen Gegenständen bestimmte Masse muß immer derselbe sein, um veränderliche Schwindung dieser Stücke unter sich zu vermeiden. Für die Verarbeitung des so vorbereiteten Materials werden zumeist Handpressen mit Kniehebelübersetzung verwendet (Fig. 14), an großen Pressen wird die Kniehebelübersetzung noch durch ein Zahnradvorgelege und lange Bedienungshebel verstärkt (Fig. 15). In eine solche Presse wird die Preßform oder Matrize eingespannt; sie besteht wie

Fig. 14.

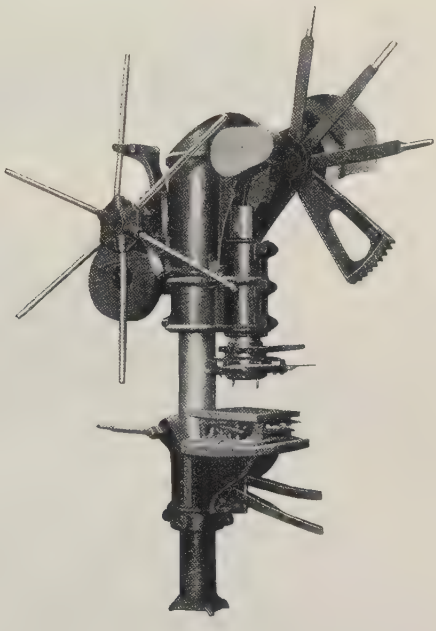


Fig. 15.

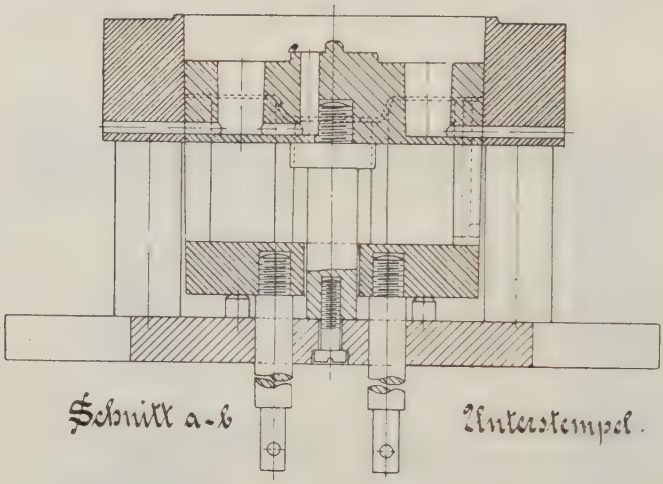
bei der Metallpresserei aus Ober- und Unterstempel. Das Material der Matrize ist ein weicher, zäher Stahl, der durch Einsetzen an der Oberfläche gehärtet wird, um größere Abnutzung beim Gebrauch zu vermeiden. Gußstahl ist wegen seiner Sprödigkeit unzulässig.

Als Erläuterung über die Herstellung von Matrizen und der daraus gepreßten Porzellanteile mögen einige typische Beispiele dienen, die eine Fülle beachtenswerter Punkte für den Konstrukteur enthalten.

Fig. 16 zeigt eine gängige Form eines Sockels für eine Abschmelzsicherung mit Schraubstöpsel. Die zur Herstellung dieses Sockels

benutzte Matrize veranschaulicht Fig. 17 a, b, c. Diese Matrize ist so ausgeführt, daß die größte ebene Fläche des daraus herzustellenden Preß-

Fig. 16.



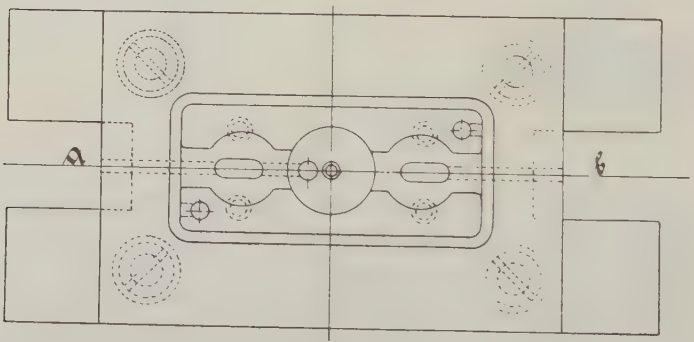


Fig. 17 a.

lings nach oben gekehrt ist, um den Oberstempel flach gestalten zu können. Eine komplizierte Form in den Oberstempel zu legen, ist nicht empfehlenswert. In dem Oberstempel (Fig. 17 b.) sind drei runde

und zwei länglich geformte Stifte angeordnet, die zur Herstellung der Aussparungen im Boden des Sockels dienen, und um welche der Mantel abziehbar angeordnet ist. Die Einrichtung, den Mantel abziehbar zu gestalten, ist immer dann notwendig, wenn das Porzellanstück tiefe Löcher oder Aussparungen enthält, aus denen der zu ihrer Her-

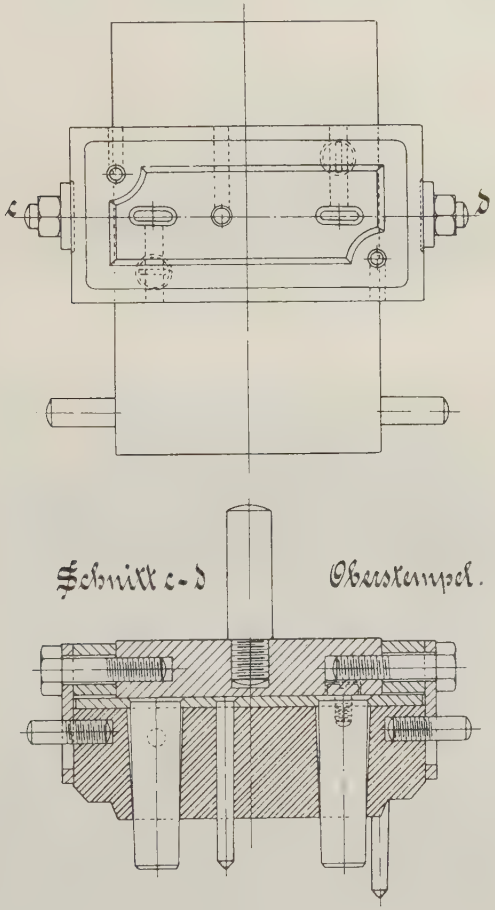


Fig. 17 b.

stellung dienende Teil der Matrize nur herausgezogen werden darf, wenn der übrige Teil des Preßlings von seinem zugehörigen Matrizenteil noch unter Druck gehalten wird. Wäre diese Anordnung nicht getroffen, so würde beim Aufheben des Oberstempels vom Unterteil die Masse an den langen Stiften leicht festhängen, wodurch der Preßling ausbrechen und rissig werden würde. Die Vermeidung jeglicher

Risse im Preßling ist nun aber die Grundbedingung für die Herstellung eines guten Fabrikates. Es klafft der feinste, nach dem Pressen noch unsichtbare Riß beim späteren Trocknen oder beim Brennen so weit auf, das das Stück unverwendbar ist.

Die innere Vertiefung an der Unterseite des Sockels ist so konisch gehalten, daß an der Matrize eine besondere Abdrückervorrichtung, wie sonst erforderlich, für diese nicht notwendig ist.

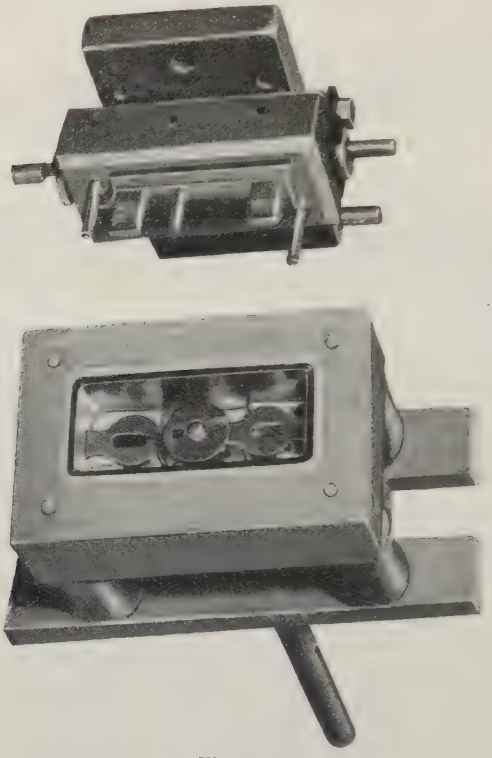


Fig. 17 c.

Im allgemeinen ist noch zu beachten, daß sämtliche Wände gepreßter Porzellangegenstände niemals absolut senkrecht oder parallel verlaufen dürfen, sondern stets etwas konisch gestaltet sein müssen. Auch ist darauf Rücksicht zu nehmen, daß die Kanten der mittels Aushebers herzustellenden Aussparungen zumeist scharf und nicht abgerundet gehalten werden. Sollten z. B. die Kanten der länglichen Löcher im Boden des Sockels nach Fig. 18 abgerundet werden, so wären die Stifte etwa nach Fig. 19 zu formen. Wenn nun die Kante K nicht ganz genau mit der Ebene der unteren Sockelfläche ab-

schneidet, so wird gerade das Gegenteil erreicht von dem, was beabsichtigt war. Formen nach Skizze a entstehen, wenn der Stempel zu tief, Formen nach b, wenn der Stempel nicht tief genug in die Masse getreten ist. Letzterer Fall würde häufig vorkommen, da das Eindringen von Masse unter den Ausheber unvermeidlich ist.

Im Unterteil der Matrize, deren allgemeine Form aus der Abbildung Fig. 17 a ersichtlich ist, sind zwei Ausheber angebracht, und zwar sind die Stifte zur Herstellung der drei nebeneinander liegenden großen runden Vertiefungen im Sockel auf der Grundplatte des Unterteiles feststehend, dagegen ist der Boden (Ausheber) der Matrize, d. h. der zur Herstellung der abgesetzten oberen Fläche des Sockels dienende Teil, nach aufwärts beweglich, damit durch Anheben desselben der Preßling aus der Form ausgehoben, vom Arbeiter gefaßt und abgenommen werden kann.

Dieser Ausheber ist so gestaltet, daß die oberen Kanten des Preßstückes eine abgerundete Form erhalten. Empfehlenswert ist es, diese

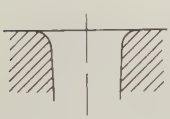


Fig. 18.

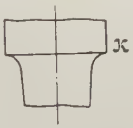


Fig. 19.

Fig. 18 a.

Form nur zu wählen, wenn die Kanten des Preßstückes stark abgerundet werden können, wie es hier der Fall ist. Die Begründung für diese Vorschrift ist leicht erklärlich. Da die Kanten des Aushebers für eine Abrundung mit kleinem Radius zu wenig Widerstand bieten, würden sie durch die mit hohem Druck zusammengepreßte Masse auseinander und an die Wände der Matrize gedrückt werden, wodurch sie diese natürlich schnell unbrauchbar machen.

Der Vorgang beim Pressen des eben betrachteten Stückes gestaltet sich etwa folgendermaßen:

In die Höhlung des Unterteiles der Matrize schüttet der Arbeiter eine genügende Menge Masse, drückt dann den Oberstempel langsam auf den Unterteil, so daß die Masse durch den starken Druck fest zusammengedrückt wird, während die überschüssige Masse durch die Fuge zwischen Ober- und Unterteil entweichen kann. Alsdann wird der innere Teil des Oberstempels emporgehoben, und nachdem dann auch der Mantel desselben sich nach oben bewegt hat, wird der Preßling durch den Ausheber des Unterteiles ausgehoben, so daß er frei abgenommen werden kann. Nachdem der Ausheber dann

wieder in seine ursprüngliche Lage nach unten bewegt worden ist, ist alles für eine neue Füllung der Matrize vorbereitet.

An Hand dieses Beispieles mögen noch einige Winke gegeben werden, die bei der Konstruktion von Porzellanpreßteilen beachtenswert sind.

Freistehende hohe Wände werden sich im Brande nur dann gut halten, wenn sie, wie im vorliegenden Falle, durch die Pfeiler gestützt werden, die durch die kreisförmigen Vertiefungen gebildet sind. Einfache gerade Wände, die höher sind, als sie am Grunde stark sind, werden sich leicht im Brande nach innen oder außen neigen. Da häufig neben oder zwischen solchen Wänden später Metallteile montiert werden sollen, empfiehlt es sich sehr, die Aussparungen für die Metallteile nicht zu knapp zu halten.

Die Flächen, auf denen das Porzellanstück während des Brandes aufruht, sollen stets kräftig sein und sind am vorteilhaftesten ganz eben zu gestalten. Das Porzellan wird während des Brandes weich und gibt natürlich an den nicht gestützten Stellen nach. Deshalb sind hervorspringende Auflagepunkte oder Rippen, wie an Eisengußteilen gebräuchlich, am besten gänzlich zu vermeiden. Kleinere Sockelgrundflächen werden, um das Einsinken des Bodens zu vermeiden, mit einem ganz umlaufenden Rande umgeben, wie das vorliegende Beispiel zeigt.

Scharfe Kanten an den äußeren Konturen sucht man meist zu vermeiden, damit dieselben bei dem später erfolgenden Nacharbeiten mehr Widerstand bieten. Das ist auch der Grund, trotz der schwierigeren Matrizenform, die obere Kante an dem vorstehend beschriebenen Sockel abzurunden.

Ebenso wie an Eisengußstücken unvermittelte Übergänge von starken und schwachen Querschnitten möglichst zu vermeiden sind, müssen sie auch an Porzellanpreßstücken vermieden werden. Durch die Schwindung der Porzellanmasse während des Brennprozesses werden die starken Querschnitte mehr schwinden wie die schwächeren, so daß letztere höheren Spannungen ausgesetzt sind und leicht reißen können. Das größere Schwinden massigerer Teile ist auch der Grund, daß Formstücke mit stark ungleichen Querschnitten nach dem Brande ganz andere Formen zeigen wie vorher.

Zur Herstellung von Körpern mit herumlaufenden Einschnürungen oder Vorsprüngen, welche das Ausheben aus einer prismatischen Matrize nicht zulassen, werden öffenbare, d. h. geteilte Matrizen verwendet. Z. B. werden die in großen Mengen in der Technik be-

nutzten Rollen zur Verlegung von Leitungen mit Hilfe derartiger Matrizen hergestellt. Fig. 20 zeigt eine Rolle und Fig. 21 die Matrize dazu. Der Oberstempel enthält den nach aufwärts abziehbaren Stift für das Mittelloch; der Unterteil ist zweiteilig, die Matrizenhälften sind an einer Vorrichtung befestigt, die durch Hebel, Kurvenschub oder dergleichen zusammen- und auseinanderbewegt werden können.

In gleicher Art werden Körper mit Außengewinde oder mit Rifflungen usw. hergestellt, Fig. 22.

Körper, die an ihren Seitenflächen einzelne Löcher oder Aus-

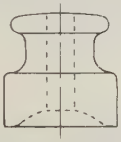


Fig. 20.

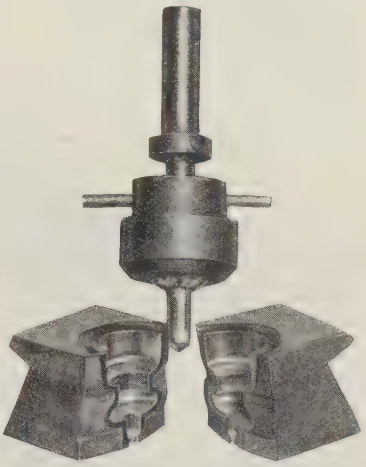


Fig. 21.

sparungen erhalten sollen, wie etwa der Fassungsstein Fig. 23, deren Hauptformen aber ein leichtes Ausheben aus einer einteiligen Form gestatten, werden in Matrizen mit Seitenschiebern hergestellt. Die Preßform zu ebengenanntem Körper zeigt die Fig. 24. Die Seitenschieber werden, sobald auf die Masse noch nicht der volle Druck

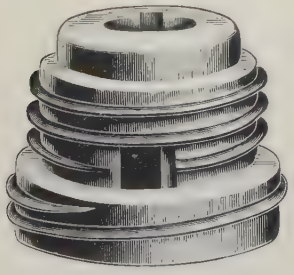


Fig. 22.

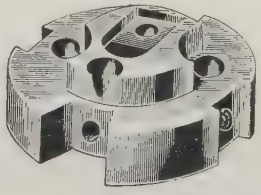


Fig. 23.

ausgeübt ist, mittels Hebels oder Hebelkombinationen in die Matrize eingeführt. Dieser Fassungsstein zeigt außerdem zwei kleine Gewindelöcher. Die Gewindebohrer hierfür werden wie die vorgenannten Seitenschieber behandelt. Im allgemeinen empfiehlt es sich aber, feine Gewindelöcher an Massenfabrikationsartikeln nicht anzubringen, da

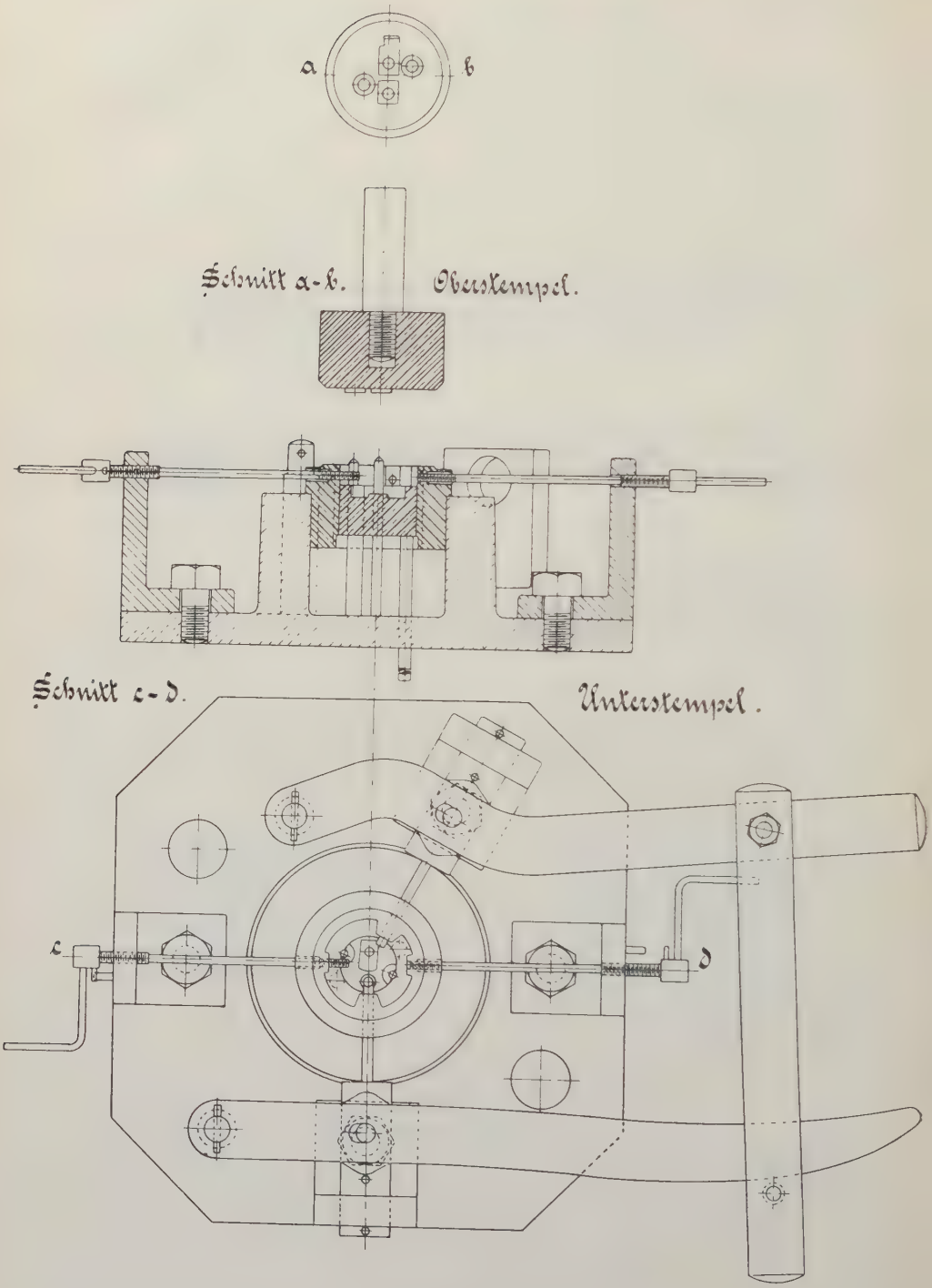
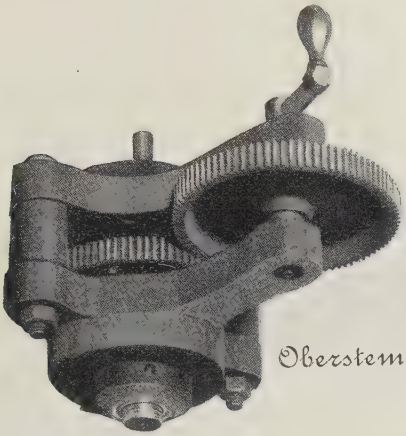


Fig. 24.

z. B. ein kleines, im Gewinde angesetztes Porzellankörnchen bei der späteren Montage mit Metallteilen einem Einziehen der Metallschraube Schwierigkeiten bereiten würde.



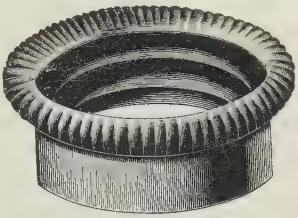


Fig. 25.

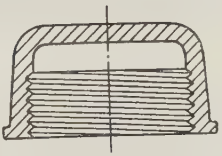
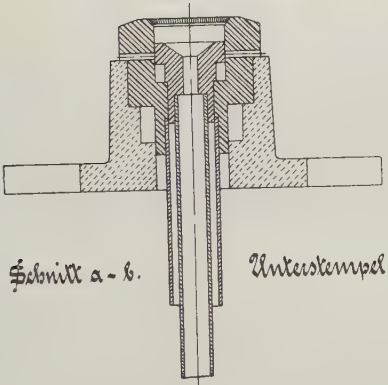


Fig. 27.



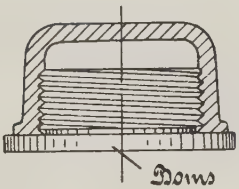


Fig. 28.

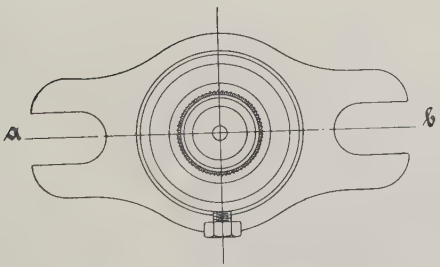


Fig. 26.

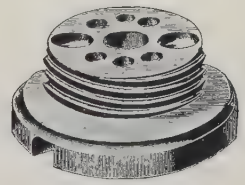


Fig. 29.

Innengewinde von größerem Durchmesser, wie z. B. an Ringen für Glühlampenfassungen, Fig. 25, werden in ähnlicher Weise wie

eben beschrieben gefertigt. Zu beachten ist natürlich, daß zum Ein- und Ausschrauben des starken Gewindebohrers eine Räderübersetzung erforderlich ist, wie Fig. 26 zeigt, welche die Matrize zu dem genannten Fassungsring darstellt.

Ein anderes Beispiel eines Hohlkörpers mit Innengewinde ist der Deckel einer Sicherungs- oder Abzweigdose, Fig. 27. Dieser Deckel, wie überhaupt Hohlkörper mit dünnen Wänden, dürfen während des Brennprozesses nicht wie größere, kräftig gehaltene Stücke auf dem Boden der Schamottekapsel stehen, sondern werden auf ein eigens angefertigtes Porzellanstück (Boms) von gleicher Schwindung wie ersteres gesetzt. Der Boms besitzt einen in die Höhlung des Hohlkörpers passenden Ansatz und zwingt dadurch diesen, beim Brennen die vorgeschriebene Form beizubehalten. Fig. 28 zeigt den Deckel auf seinem zugehörigen Boms.

Zu der Preßform für ähnliche Hohlkörper kommt daher stets noch eine einfache Preßform für den Boms hinzu. Bemerkenswert ist, daß in solchen Fällen ein Boms nicht zum zweiten Male verwendet werden kann, weil er dann nicht mehr schwindet.

Der Sockel, Fig. 29, zu dem eben beschriebenen Deckel besitzt ein Außengewinde; es ist in ähnlicher Art hergestellt, wie früher bereits geschildert wurde, nur ist seine Matrize nicht gänzlich zweiteilig, sondern nur der die Gewindeform tragende Teil.

Die Porzellanpreßteile werden, nachdem sie von der Preßform abgehoben sind, auf lange Bretter (Planken) dicht nebeneinander gestellt und dann in Lattengerüsten (Regalen) untergebracht, wo sie je nach ihrem Feuchtigkeitsgehalt kürzere oder längere Zeit stehen müssen, um genügend lufttrocken zu werden.

Von hier werden die Stücke nach der Putzerei weitergegeben, wo die feinen, gratartigen Ansätze beseitigt werden, die sich beim Stanzen durch die feinen Spalten der beweglichen Teile der Matrize bilden.

4. Das Glasieren.

Die geformten Gegenstände dürfen nur einem langsamen Trockenprozeß ausgesetzt werden. Durch diesen wird das im rohen Porzellan enthaltene Wasser verdunstet und die Waren werden damit zum ersten Brand, dem sogenannten Glühbrand, vorbereitet. Der Glühbrand, in welchem das Porzellan einem nur mäßigen Hitzegrad von za. 900° C ausgesetzt wird und welcher in der zweiten Etage des Brennofens stattfindet, ist nötig, um dem Porzellan eine größere

Festigkeit und eine solche Beschaffenheit zu geben, daß dasselbe seine Erweichbarkeit im Wasser beim Glasieren verliert, zugleich aber auch so porös wird, daß es mit Begierde Wasser aufsaugt. In nur lufttrockenem Zustand würde das Porzellan die Glasur zu langsam und auch nicht genügend aufsaugen und der Gefahr des Erweichens und Zerfallens ausgesetzt sein.

Das Glasieren hat nicht nur den Zweck, dem Porzellan durch den glasartigen Überzug ein besseres Ansehen zu geben, sondern soll vielmehr bei technischen Porzellangegenständen die Isolierfähigkeit erhöhen, weil diese durch die rauhe, unglasierte Oberfläche, auf welcher sich leicht Staub und Feuchtigkeit absetzt, beeinträchtigt werden würde.

Die Glasur, mit deren Bestandteilen wir uns schon bekannt gemacht haben (S. 4), wird in nicht zu großen Gefäßen mit Wasser zu einem dünnen Brei angerührt. Die verglühten Stücke, welche sorgfältig von den Verbrennungsrückständen, wie Asche usw., gereinigt worden sind und deren Volumen durch Schwindung bereits etwas kleiner geworden ist, werden nun durch den dünnen Glasurbrei langsam durchgezogen, wobei sie eine bestimmte Menge Wasser aufsaugen und die darin enthaltene Glasur auf ihrer Oberfläche zurückhalten. Die Glasur erscheint nach dem Trocknen auf dem Porzellan als ein pulverförmiger Überzug, der durch den zweiten oder den Glattbrand in ein glasartiges Aussehen verwandelt wird.

Das Tauchverfahren ist die am meisten gebräuchliche Art beim Glasieren.

Unglasiert zu haltende Teile, die nicht auf einfache Art abgedeckt werden können, werden für gewöhnlich mitglasiert und später durch Abwaschen mit Hilfe eines angefeuchteten Schwammes oder einer Filzplatte von der Glasur wieder befreit.

Handelt es sich bei Porzellanstücken um Aussparungen oder durchgehende Löcher, welche nicht glasiert werden dürfen, so werden diese mit Stopfen aus Porzellanmasse oder anderem Material abgedeckt oder verschlossen, die nach dem Glasieren wieder entfernt werden.

Alle Flächen, auf denen die Porzellanteile beim Brennen aufruhen, müssen ebenfalls frei von Glasur bleiben. Die Glasur hat das Bestreben, beim Brande sich speziell in Ecken und Fugen stärker anzusammeln, ein Umstand, der vom Konstrukteur häufig unbeachtet gelassen wird, bisweilen aber unangenehme Folgen beim Montieren solcher Porzellanteile nach sich zieht. Man läßt daher an solchen Stellen, auf deren Dimensionen es besonders ankommt, am besten die Glasur gänzlich fort.

Die Stärke der gewöhnlichen Glasurschicht (Unterglasur) beträgt $^1/_3$—$^1/_2$ mm.

Die Glasur kann verschiedene Farbentöne erhalten und zwar jene Farben, welche die hohe Temperatur im Glattbrande noch vertragen, zu welchen vornehmlich gehören: gelb (creme), braun, grün, blau und schwarz.

Durch Mischung dieser Farben kann man auch verschiedenartige Zwischenfarben in verschiedenen Abtönungen herstellen.

Die farbigen Glasuren zeigen den Übelstand, daß sie im Glattbrande leichtflüssiger sind als die weiße Glasur und deshalb an den Kanten nicht immer genügend decken. Aus diesem Grunde wendet man dunkelfarbige Glasuren auch weniger an als sogenannte Schmelzfarben, die auf das fertige Fabrikat aufgetragen und im Muffelfeuer eingebrannt werden.

5. Das Brennen.

Das Brennen des Porzellans geschieht in großen, runden Öfen, welche zwei, manchmal auch drei übereinander liegende Etagen haben. Die Feuerführung bei diesen Öfen ist meistens von unten nach oben durchschlagend angeordnet. Solche Öfen nennt man Öfen mit „direkter Feuerung" (Fig. 30). Seit einigen Jahren sind jedoch auch Öfen gebaut, bei denen das Feuer in der untersten Etage (dem Glattofen) zunächst nach oben dem Gewölbe zuströmt, und dann, nach unten fallend, durch Kanäle am Boden abgezogen wird, um durch in der Ofenwand angebrachte Kanäle in die zweite Etage (den Glühofen) zu gelangen. Derartige Öfen nennt man Öfen mit „indirekter Feuerung" oder mit „absteigender Flamme" (Fig. 31).

Die Größe der Öfen ist in den verschiedenen Fabriken sehr verschieden. Man hat Öfen von 3—6 m Durchmesser. Auch hierbei bestätigt sich die alte Regel, daß die Öfen mittlerer Größe die besten sind.

Die unterste Etage, der Glattofen, schließt mit flachem, etwa 3—4 m hohem Gewölbe ab und ist je nach der Größe des Ofens mit 5—9 seitlichen, außerhalb des Brennraumes liegenden Feuerungen versehen. Die zweite, mit halbkugelförmiger Wölbung abschließende Etage wird, wie schon erwähnt, zum Verglühen des Porzellans benutzt. Die dritte Etage endlich dient, wenn solche vorhanden ist, zum Brennen von Kapseln.

Die aus den Feuerungen in den Glattofen gelangende Flamme umspült die in demselben nach gewissen Regeln (Fig. 32) aufgestellten,

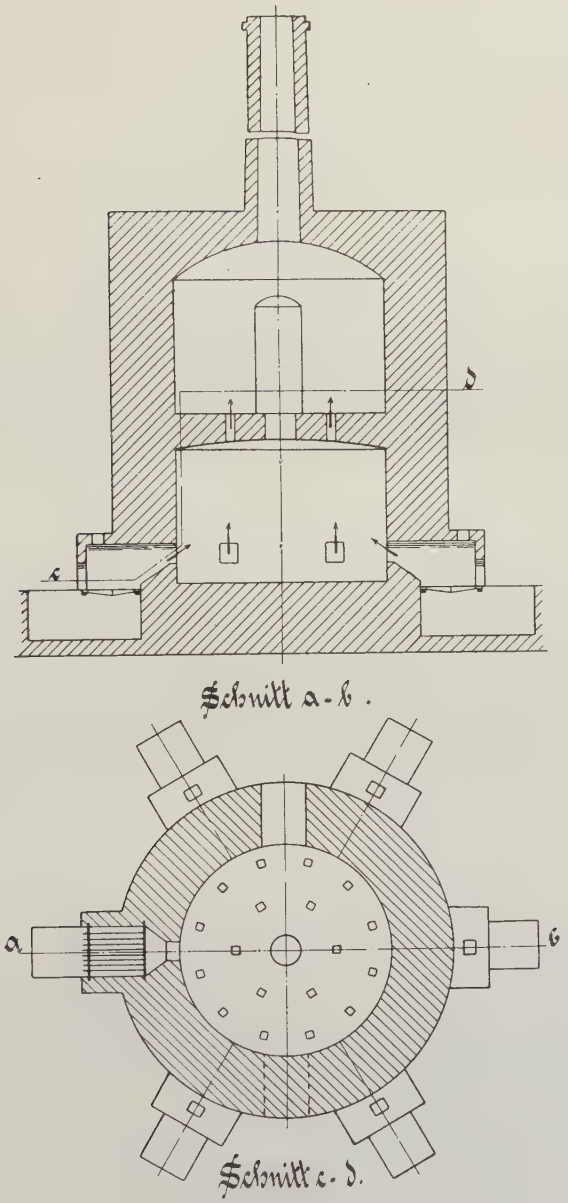


Fig. 30.

mit Porzellangegenständen gefüllten Kapseln, tritt dann bei den Öfen mit direkter Feuerung durch die mittlere Hauptöffnung der Wölbung und durch eine Anzahl kleiner Seitenöffnungen in den Glühofen und

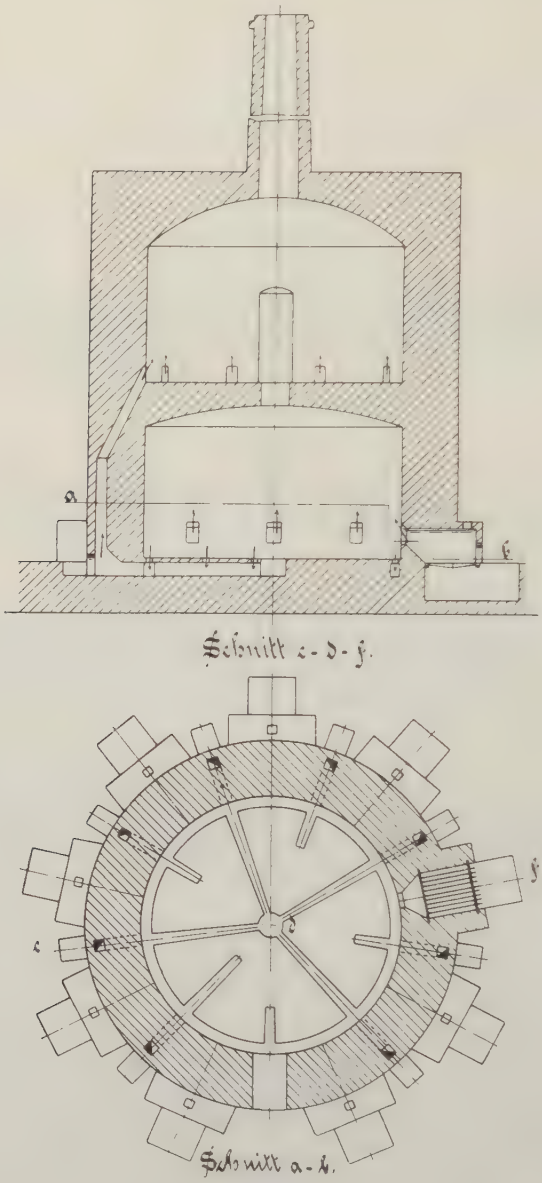


Fig. 31.

von hier durch Abzugslöcher des Deckengewölbes in die dritte Etage oder in den Schornstein.

Es ist klar, daß durch den beim Ofenbrande entstehenden Feuer-

kegel, dessen Basis der kreisförmigen Sohle des Ofens entspricht, dessen Spitze im Scheitelpunkt des Gewölbes liegt und dessen Seitenflächen durch sechs oder mehr Feuerungen gebildet werden, die nach diesem

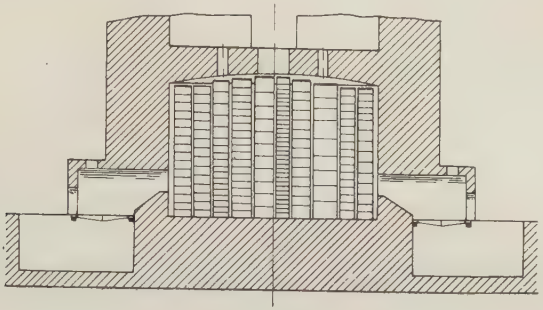


Fig. 32.

Punkt hin gerichtet sind, Flammenströme entstehen, welche an den verschiedenen Stellen des Ofens verschiedene Hitzegrade erzeugen. In der Richtung der Flammenzüge, besonders in der Nähe der Feuerlöcher, wird die Temperatur am höchsten; in der Mitte des Feuerkegels dagegen, insbesondere aber in der Nähe der Sohle des Ofens, wird sie am niedrigsten sein.

Daraus ergibt sich, daß beim Porzellanbrennen nur eine lange Flamme wirksam sein kann, auch schon deshalb, weil man das Fabrikat nicht unmittelbar dem Feuer aussetzen darf, ohne es zu gefährden, und weil ohne genügende Flammenbildung eine nachteilige, zu ungleichmäßige Temperatur im Ofen entstehen würde.

Es können daher für den Porzellanbrand nur Brennmaterialien von besonderer Güte in Frage kommen, die eine lange Flamme von intensiver Hitzeentwickelung erzeugen.

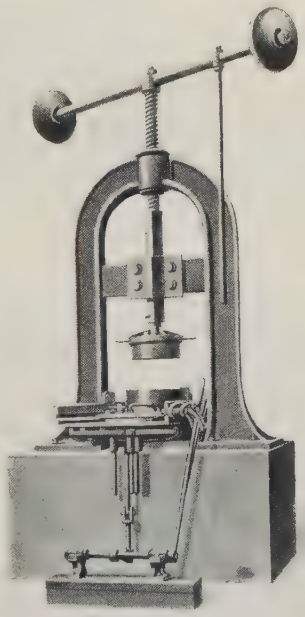


Fig. 33.

Die Eigenartigkeit der Fabrikation sowie die Notwendigkeit, das Fabrikat im Brande vor der direkten Berührung der Flammen zu

schützen, macht es notwendig, daß dasselbe in fest verschlossenen Kapseln eingesetzt und gebrannt wird. Diese, je nach Erfordernis von runder, ovaler oder eckiger Form, werden teils mit Hilfe von Gipsformen, teils mittels Kapselpressen nach Art des Stanzverfahrens (Fig. 33) aus rohem, möglichst gereinigtem Ton, der mit Schamotte, einem grobkörnigem, aus zerkleinerten Kapseln gewonnenen Pulver, vermischt ist, hergestellt, welche Bestandteile mit Wasser zu einem formbaren Teig verarbeitet werden.

Die Kapseln in ihrer Eigenschaft als schlechte Wärmeleiter geben nach dem Brande nur langsam ihre hohe Temperatur ab, eine Eigenschaft, welche den Vorteil gewährt, daß auch die Abkühlung des Inhaltes der Kapseln nur allmählich erfolgt und damit die Möglichkeit des Reißens oder Springens des Porzellans erheblich vermindert wird.

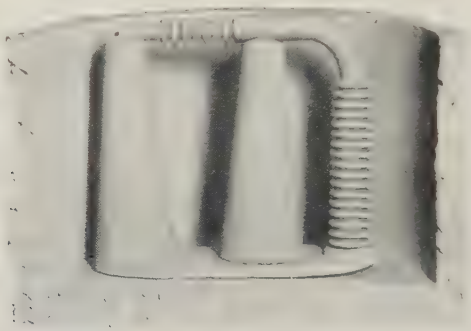


Fig. 34.

Das Füllen der Kapseln erfordert ganz besondere Vorsichtsmaßregeln, weil das Porzellan im Glattfeuer bis zu einem gewissen Grade erweicht und dabei der Gefahr ausgesetzt ist, sich zu verziehen bezw. zu deformieren. Bei der überwiegenden Mehrzahl der Porzellanstücke ist es nötig, dieselben auf geschliffenen Scheiben (Bomsen) von feuerfestem Ton oder auf solche aus Porzellanmasse einzusetzen. Letztere werden besonders da verwendet, wo durch ein gleichmäßiges Mitschwinden derselben bestimmte Dimensionen nach Möglichkeit eingehalten werden sollen (vergl. S. 24). Beim Brennen komplizierter Stücke genügt aber auch dieses nicht, vielmehr bedarf es hierbei oft noch sehr künstlicher Unterstützungen (Fig. 34), um die gewünschte Form beim Brennen zu erhalten. In solchen Fällen machen die Hilfsmittel oft ebensoviel Arbeit wie das Stück selbst, welches sich dadurch naturgemäß nicht unwesentlich verteuert.

Sobald das Einsetzen (Füllen) des Ofens beendet ist, wird die Eingangstür desselben luftdicht vermauert und das Feuern beginnt. Dasselbe geht in zwei Perioden vor sich, dem sog. Schmauch- oder Vorfeuer und dem Glattfeuer. Das Schmauchfeuer dauert in der Regel 4—6 Stunden. Bei diesem werden der Feuerung reichliche Luftmengen zugeführt, um die Hitze im Ofen nur ganz allmählich zu steigern. Ist die Temperatur im Ofen bis zur Rotglühhitze gestiegen, so beginnt das Glattfeuer. Hierbei wird die Zuführung überschüssiger Luft sorgsam vermieden. Die Hitze im Ofen steigt immer mehr, bis nach einigen Stunden dem Schornstein eine kurze Flamme entschlägt. In dieser Periode ist die Temperatur im Ofen bis zur Weißglühhitze gestiegen und es tritt die sog. Porzellangare ein. Der Brennmeister muß während dieser Periode von Zeit zu Zeit dem Ofen durch für diesen Zweck angebrachte verschließbare Öffnungen Proben entnehmen, um sich zu überzeugen, ob und wie weit das Porzellan durchgebrannt

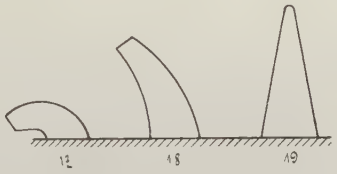


Fig. 35.

und die Glasur sich schon geflossen zeigt. Wesentlich bei der Leitung des Brandes ist es, daß die Temperatur im Ofen langsam und gleichmäßig fortschreitet, damit die Masseteilchen, welche beim Hartporzellan das kristallinische Gefüge bilden, nur allmählich und nicht sprungweise einander nähergebracht werden.

Die Schwindung, welche auf diesem Vorgang beruht und welche je nach dem Versatz der Masse verschieden ist (vergl. S. 39), darf sich nur ganz allmählich vollziehen, wenn die Ware nicht der Gefahr von Brandrissen ausgesetzt werden soll.

In manchen Fabriken sind, um den Garbrand zu kontrollieren, sog. Segerkegel im Gebrauch. Diese Segerkegel, für den Porzellanbrand in etwa zehn Temperaturabstufungen in Betracht kommend, stellen Pyramiden von 6 cm Höhe dar und bestehen aus einer Reihe systematisch zusammengesetzter, an Schmelzbarkeit zunehmender Silikate. Fig. 35 veranschaulicht einen Satz von derartigen Kegeln, welche zur Temperaturbestimmung gedient haben. Kegel 17 (1470 ° C) ist schon völlig breit geschmolzen, Kegel 18 (1490 ° C) ent-

spricht der etwa erreichten Temperatur, während Kegel 19 (1510° C) noch nicht geschmolzen ist.

Die Brenndauer der Öfen ist sehr verschieden. Sie beträgt bei den Öfen mit direkter Feuerung und je nach der Größe derselben 14—16, bei den Öfen mit indirekter Feuerung 20—24, manchmal auch noch mehr Stunden.

Das Brennen des Porzellans ist eine der schwierigsten Aufgaben der ganzen Fabrikation. Es können dazu nur langjährig geschulte und zuverlässige Arbeitskräfte verwandt werden. Das Gelingen des Brandes ist von so vielen Zufälligkeiten abhängig, daß dem Brenner bestimmte Vorschriften nicht gegeben werden können. Er muß selbst soviel Intelligenz besitzen, um beurteilen zu können, durch welche Handhabungen er beim Feuern resp. Schüren den Gang des Ofens am besten leitet. Die oft ungleiche Beschaffenheit der Kohle, wenn auch ein und derselben Grube entnommen, die richtige Zufuhr der Luftmengen in die Feuerung durch Abwägung der Schütthöhe des Brennmaterials, die Art des Schürens, die Reinhaltung der Roste von den Schlacken, alles das sind Faktoren, welche zum Gelingen eines guten Brandes stark ins Gewicht fallen. Die Leitung des Brandes gestaltet sich um so schwieriger, wenn der Ofen auch Porzellan mit farbigen Unterglasuren enthält. Diese wollen wieder ganz anders behandelt sein als das weiße Porzellan. Die Einwirkung des reduzierenden Feuers auf die Farben in dem richtigen Stadium der Gare des Brenngutes, wenn die Glasur in Fluß kommt, spielt hierbei eine große Rolle.

Nach dem Abbrennen der Öfen bleiben dieselben mindestens vierundzwanzig Stunden zum Abkühlen stehen, bevor sie ausgetragen werden. Alsdann wird der Brand sorgfältig sortiert, wobei alle fehlerhaften Stücke ausgeschieden werden.

6. Das Prüfen.

Bei der Bedeutung, welche unsichtbare Risse bei solchen Stücken haben, die für Hochspannung Verwendung finden, werden bei der Porzellanfabrik Hermsdorf S.-A. alle Hochspannungsisolatoren ohne Ausnahme vor dem Versand in der eigens zu diesem Zweck errichteten Hochspannungsstation einer strengen elektrischen Prüfung unterworfen. Die Prüfstation von der Zweigniederlassung Leipzig der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. Schuckert & Co., Nürnberg,

ausgeführt,*) besteht aus zwei Versuchsräumen I und II, zwischen denen in einem dritten Raume zwei Öltransformatoren aufgestellt sind. Ihre Primärwickelungen erhalten von einer Wechselstrommaschine 50-periodischen Wechselstrom von 78 Volt Spannung zugeführt. Da jeder Transformator ein Übersetzungsverhältnis von 1:640 hat, kann er sekundär bis 50 000 Volt abgeben.

Durch den Deckel jedes Transformators führen, durch Porzellanrohre isoliert, die Primär- und Sekundärklemmen. Letztere tragen mit Bohrungen versehene Messingkugeln. In diese Bohrungen werden Stäbe eingelegt, die die Verbindung mit den in jedem Versuchsraum befindlichen Prüfungsvorrichtungen bewerkstelligen. Ein an der Decke des Transformatorenraumes isoliert aufgehängtes Messinggestänge gestattet im Bedarfsfalle eine Hintereinanderschaltung der Hochspannungswickelungen, in welchem Falle 100 000 Volt sekundär erreicht werden.

In jedem der Versuchsräume befindet sich eine Schalttafel. Das Schaltbrett in I enthält einen Maschinenregulator, mit welchem die Erregerstromstärke und damit die Spannung der Wechselstrommaschine reguliert werden kann, eine doppelpolige Sicherung, einen Regulierwiderstand im Primärstromkreis des Transformators, einen Starkstromausschalter, der selbsttätig den Primärstromkreis unterbricht, wenn im Sekundärkreis durch Defektwerden eines Isolators Kurzschluß entsteht, ein Amperemeter, ein Voltmeter mit Umschalter und Vorschaltwiderständen sowie einen Erdschlußanzeiger.

Die Schalttafel im Prüffeld II enthält im wesentlichen dieselben Apparate, nur fehlt hier der Maschinenregulator.

Von den in vorzüglicher Isolation (Porzellanrohre) durch die Wand in den betreffenden Prüfraum geführten Hochspannungsklemmen ist die eine mit einem aus Schmiedeeisenblech genieteten Bottich, der auf Deltaglocken isoliert aufgestellt ist, verbunden. Die andere Klemme ist an ein Messingrohr geführt, das parallel der einen Längskante des Bottichs über denselben hinläuft. Dieses Rohr bildet mit einem der anderen Kante parallelen die Lagerung für eine Anzahl Querrohre, in welche Messingdrähte, die am unteren Ende Kettchen tragen, eingehakt werden können. Die Kettchen bilden in ihrer Gesamtheit den einen Pol, den anderen bildet der Bottich.

In letzteren werden auf Querleisten die Isolatorenträger gesetzt. Diese sind mit Handgriffen versehene, gefirnißte Bretter, aus welchen, entsprechend den zu prüfenden Typen, kreisrunde Löcher ausgeschnit-

*) Ausführliches siehe E. T. Z. 1902 S. 471.

ten sind. In diese werden, mit dem Kopf nach unten, die Isolatoren eingesetzt. Der Bottich wird bis zu einer ausprobierten Marke mit Wasser gefüllt und auch in das Gewindeloch jedes Isolators vorher so viel Wasser gegossen, daß der Wasserspiegel innerhalb und außerhalb der Glocke etwa gleich ist. Hierauf werden die Kettchen in die Gewindelöcher niedergelassen, und damit ist die Beschickung zur Prüfung vorbereitet.

Erwähnt sei noch die Kurzschlußvorrichtung, ein Messingrohr mit umgebogenen Enden, das mittels zweier Ösen unter Zwischenschaltung von Isolierstücken an Darmsaiten aufgehängt ist, die über Rollen laufen und an einem Griff beim Schaltbrett enden. Wird diese Vorrichtung niedergelassen, so legt sie sich quer über die Leiter der Hochspannung und schließt diese in sich kurz, sie können alsdann nicht auf Spannung gebracht werden.

Zum weiteren Schutze des Bedienungspersonals ist jeder Raum, der die der Hochspannung ausgesetzten Teile enthält, durch Rollgitter abgesperrt; außerdem sind noch die vorgeschriebenen Warnungstafeln und rote Signallampen angebracht, die aufleuchten, sowie die Transformatoren unter Spannung kommen.

Die Ausführung der Prüfung ist verschieden, je nachdem man mit den Transformatoren einzeln (50 000 Volt) oder in Hintereinanderschaltung (100 000 Volt) arbeitet. Im ersteren Falle reguliert man mit dem Maschinenregulator die Maschinenspannung auf konstant 78 Volt und stellt dann durch Regulieren am Transformator-Vorschaltwiderstand unabhängig voneinander die der gewünschten Sekundärspannung entsprechende Primärspannung her.

Im zweiten Fall schließt man nach Hintereinanderschaltung der Sekundärspulen die Transformatorenrheostaten dauernd kurz und reguliert die Spannung direkt durch Änderung der Erregung am Maschinenregulator.

Wird ein Isolator durchgeschlagen, so entsteht gewöhnlich in der Hochspannung ein Kurzschluß. Der Primärstrom wächst an und der Starkstromautomat unterbricht. Damit ist auch der Sekundärkreis stromlos geworden. Um den durchgeschlagenen Isolator zu finden, geht man mit der Rheostatenkurbel auf Ausschaltestellung, legt den Automat ein und gibt wieder vorsichtig Spannung. Je nach der Art des Defektes treten am betreffenden Isolator hierbei charakteristische Erscheinungen auf, die das rasche Auffinden des zerstörten Stückes ermöglichen. Man geht dann mit der Rheostatenkurbel wieder auf Ausschaltestellung, öffnet den Automat und läßt die Kurzschlußvorrichtung

nieder. Das defekte Exemplar kann hierauf gefahrlos ausgeschaltet werden, was dadurch geschieht, daß das dazugehörige Kettchen hochgezogen wird. Die Prüfung nimmt dann ihren Fortgang.

Bezüglich der Höhe der Prüfspannung wird aus Gründen, die auf S. 85 dargelegt sind, in der Porzellanfabrik Hermsdorf, S.-A., eine Spannung gewählt, die vom doppelten Betrage der Betriebsspannung bei großen, bis zum dreifachen Betrag bei kleinen Glocken anwächst.

Die Dauer der Prüfung ist veränderlich. Als Regel gilt: Die Isolatoren sind nach Ausscheiden des letzten durchschlagenen Stückes noch eine Viertelstunde der Prüfspannung auszusetzen.

Die hohe Prüfspannung und die lange Dauer der Prüfung geben dem Kunden die Gewähr, einen wirklich fehlerfreien Isolator geliefert zu erhalten, der selbst unter den ungünstigsten Verhältnissen die an ihn zu stellenden Anforderungen erfüllt.

Die Glocken werden außer auf Durchschlag auch auf Randentladungen mit Hilfe eines in Versuchsfeld I befindlichen Regenapparates geprüft.

Nicht nur Glocken, sondern auch Isolatoren anderer Art, wie Griffe, Rillenisolatoren usw., werden geprüft; es stehen zu diesem Zweck spezielle Vorrichtungen zur Verfügung, die es ermöglichen, das betreffende Stück in solcher Weise zu prüfen, wie es der praktischen Verwendung entspricht.

Anmerkung: Die Prüfungseinrichtung hat sich so wertvoll gezeigt, daß dieselbe durch die Errichtung einer dritten Station vergrößert wird. Diese wird einen weiteren Maschinensatz und einen Transformator von 20 Kilowatt Leistung erhalten, mit dem eine Spannung bis 200 000 Volt eff. erreicht werden kann. Die Ausführungsarbeiten sind den Siemens-Schuckertwerken übertragen.

II. Physikalisch-technische Eigenschaften des Porzellans.

Von Rob. M. Friese.

Wie in den vorangegangenen Abschnitten ausgeführt wurde, wird gar mancherlei unter dem Namen Porzellan auf den Markt gebracht, das diese Bezeichnung nicht verdient und für die Zwecke der Elektrotechnik auch gar nicht in Betracht kommen kann, wie z. B. das Frittenporzellan und Knochenporzellan. Auf diese unedlen Porzellane soll daher nicht näher eingegangen werden und nur die Rede sein von dem Edel- oder Hartfeuerporzellan.

Porzellan ist keine chemische Verbindung, sondern ein mechanisches Gemenge von Verwitterungsprodukten verschiedener Mineralien und zwar besonders von Silikaten feldspatartiger Zusammensetzung (Tone) und Beimengungen von Quarz und Feldspat. Der Verwitterungsprozeß kann durch folgende Gleichung dargestellt werden:

$$K_2Si_3O_7,\ Al_2Si_3O_9 = (Al_2Si_2O_7 + SiO_2) + K_2Si_3O_7$$

also ein Doppelsatz, im wesentlichen aus kieselsaurem Kali und kieselsaurer Tonerde bestehend. Je reicher an kieselsaurer Tonerde, desto edler und wertvoller ist die Porzellanerde (Kaolin). (Vergl. hierzu S. 3).

An sich ist Kaolin wenig plastisch und überhaupt unschmelzbar, also feuerfest. Daher ist es notwendig, ihm geeignete Flußmittel, wie Quarz und Feldspat, zuzumischen. Im Garbrande entsteht aus diesem Gemenge („die Masse" genannt) ein Schmelz- oder vielleicht richtiger ein Sinterungsprodukt — das Edelporzellan.

Die chemischen Vorgänge im Brande sind nicht vollkommen geklärt. Man nimmt an, daß der Feldspat im Feuer basische Verhältnisse entwickelt und sich mit dem Silicium zu Silikaten vereinigt, die eine

innige Mischung der Masse bewirken, so daß jenes bekannte harte, klingende, durchscheinende Porzellan von reinweißer Farbe entsteht. Nicht nur die Zusammensetzung der Masse, sondern auch die Feuerführung sind deshalb von großem Einfluß auf das Endprodukt. Über die Feuerführung läßt sich nichts sagen, sie ist eine Kunst, die erst durch lange Erfahrung reift. Auch die Zusammensetzung der Masse wird geheim gehalten, nachdem es sich gezeigt hat, daß von ihr sehr wesentlich die elektrischen und mechanischen Eigenschaften des isolierenden Porzellans und das Gelingen eines fehlerfreien Fabrikates abhängig sind. Indessen kann so viel gesagt werden, daß zu reichlicher Quarzzusatz die Masse weniger plastisch macht und ihr im Brande Neigung zum Verziehen gibt. Zu viel Feldspat macht die Masse weich und flüssig und erhöht die Sprödigkeit. Zu wenig Feldspat gibt nicht genug Bindung und setzt die Durchschlagsfestigkeit herab. Hieraus geht hervor, daß die Zusammensetzung der Masse ein Kompromiß zwischen sich teilweise widersprechenden Bedingungen darstellt.

Die Färbung des Porzellans geschieht, wie früher ausgeführt, durch Beimischung von Metalloxyden zur Glasur. Diese bilden mit dem Silicium Silikate, die Nichtleiter sind und daher die elektrischen Eigenschaften des Porzellans in keiner Weise beeinflussen.

Die vielen Faktoren, die während der Herstellung des Porzellans dieses beeinflussen und sich teilweise jeder Einwirkung entziehen, machen es unmöglich, die physikalischen Eigenschaften so scharf festzulegen, daß nicht selbst größere Abweichungen vorkommen können. Es kann daher nicht aus einem einzigen Versuche ein Urteil über die Eigenschaften des Materials gefällt werden, sondern es müssen erst Mittelwerte abgeleitet werden aus zahlreichen, oft mühsamen Beobachtungen.

Da über die physikalischen Eigenschaften des Hartporzellans nur weniges bekannt ist, hat die Porzellanfabrik Hermsdorf in ihrem eigenen Laboratorium und in solchen wissenschaftlicher Institute für ihr Hartfeuerporzellan eine Reihe von Werten ermitteln lassen, die nachstehend als Mittelwerte bekannt gegeben werden sollen. Wenn nichts Besonderes bemerkt ist, gelten die Werte für das Endprodukt, also für das gargebrannte Porzellan. Wo es von Interesse schien, sind auch Werte für das Porzellan im Grünzustande (lufttrocken) und im verglühten Zustande ermittelt worden.

1. Spezifisches Gewicht.

a) Masse lufttrocken (Porzellan im Grünzustande)*) 1,55—1,65
b) Masse verglüht 1,45—1,55
c) Porzellan gargebrannt 2,30—2,40

Aus diesen Zahlen geht hervor, wie durch die Brennprozedur das Material immer dichter und fester wird. Dies ergibt sich auch in dem

2. Saugvermögen

zu erkennen.

Lufttrockene Masse nimmt Wasser so begierig auf, daß sie darin vollständig zerfällt.

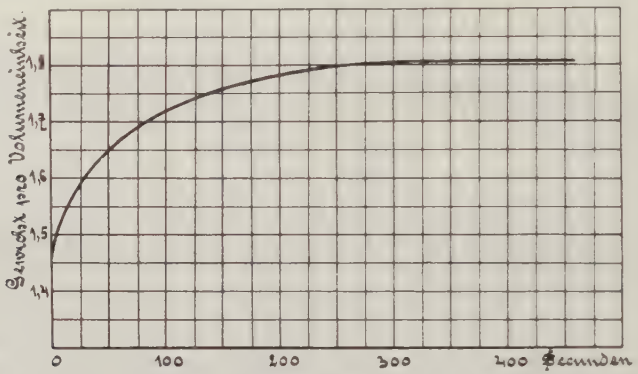


Fig. 36.

Verglühtes Porzellan ist feinporös und erleidet im Wasser eine Gewichtszunahme von ziemlich genau 25 %. Fig. 36 läßt erkennen, wie die Wasseraufnahme von der Zeit abhängig ist. Nach etwa 300 Sekunden ist in allen praktischen Fällen das verglühte Porzellan mit Wasser gesättigt.

Gargebranntes Hartporzellan nimmt weder im glasierten noch unglasierten Zustande Wasser auf. Hieran erkennt man leicht unedle von edlen Porzellanen. Taucht man die Bruchfläche in mit Fuchsin oder Anilin stark gefärbtes Wasser, so darf nach dem Abspülen keine Farbe aufgesogen zurückbleiben. Besonders schlechtes Porzellan erkennt man auch schon daran, daß die Bruchfläche Neigung hat, an der Zunge kleben zu bleiben.

*) Die lufttrockene Masse ist nie wasserfrei, weshalb ihr spez. Gewicht etwas größer als das der verglühten Masse ist.

3. Schwindung.

Das Schwinden des Porzellans infolge des Zusammensinterns beim Glüh- und Glattbrande hängt von der Herstellungsmethode des Stückes und bis zu einem gewissen Grade auch von der Formgebung ab. Daß es natürlich auch noch in hohem Maße abhängig ist von der Zusammensetzung der Masse, ist wohl selbstverständlich. Es ist aber hier vorausgesetzt, daß immer mit ein und derselben für das Isolierporzellan günstigsten Zusammensetzung gerechnet wird. Es ist daher wohl verständlich, daß das Schwindmaß — trotz seiner Wichtigkeit — die unsicherste Größe ist, die angegeben werden kann. Dies um so mehr, weil zu der Schwindung noch eine andere Formveränderung hinzutreten kann, die oft mit der Schwindung verwechselt wird und darin besteht, daß beim Garbrande das Porzellan weich wird und nun unter der Wirkung der Schwerkraft je nach der Massenanhäufung des Formstückes noch Verbiegungen, Verwerfungen u. dergl. erleidet, nachdem die eigentliche Schwindung schon aufgehört hat. Aus diesem Grunde ist es bei komplizierteren Formen oft gar nicht möglich, vorgeschriebene Maße genau einzuhalten. Für Hermsdorfer Hartporzellan wurden als ungefähre Mittelwerte der (linearen) Schwindung gefunden für

a) Gedrehte Artikel

vom Übergange aus grünem in verglühten Zustande eine Schwindung von	7 %
vom verglühten in den Garzustand	10 %
vom Grün- in den Garzustand	17 %

b) Gestanzte Artikel

grün in verglüht eine Schwindung von	2,5 %
verglüht in gar eine Schwindung von	13,5 %
grün in gar eine Schwindung von	16 %

c) Gegossene Artikel

grün in verglüht eine Schwindung von	6 %
verglüht in gar eine Schwindung von	9 %
grün in gar eine Schwindung von	15 %

Besonders bemerkenswert ist die geringe Schwindung von grün in verglüht bei gestanzten Artikeln, was sich dadurch erklärt, daß die

Masse trocken verarbeitet wird und durch den hohen Druck in den Stanzen schon sehr dichte Preßstücke erzeugt werden.

4. Ausdehnungskoefizient.

Die Längenänderung mit der Temperatur ist bei Hartporzellan geringer als bei Glas. Darin ist wohl auch der Hauptgrund zu erblicken, daß es schroffe Temperaturwechsel verträgt, ohne zu zerspringen. In dieser wertvollen Eigenschaft ist es selbst den bestgekühlten Gläsern wesentlich überlegen, und die Superiorität der Porzellanisolatoren gegenüber den Glasisolatoren ist nicht zum geringen Teil hierin begründet. Wesentlich abhängig ist der Ausdehnungskoeffizient von geringen Änderungen in der Zusammensetzung der Masse, weshalb sich eindeutige Zahlen darüber nicht geben lassen. Auch ist die Brenntemperatur von Einfluß und der Koeffizient deshalb auch noch von den Temperaturintervallen selbst abhängig. Je höher die Temperatur der Umgebung, desto größer wird der Koeffizient werden; ebenso je größer der Gehalt der Masse an Feldspat. Größerer Quarzzusatz verringert den Koeffizienten. In erster Annäherung kann der lineare Ausdehnungskoeffizient zwischen

$$0{,}000\,004\,5 \text{ und } 0{,}000\,006\,5$$

angenommen werden. Kommt es, wie dies bei physikalischen Apparaten bisweilen der Fall ist, auf genaue Kenntnis des Wertes an, so muß er von Fall zu Fall bestimmt werden.

5. Kompressibilität.

Die mechanische Festigkeit gegen Druck (vergl. 6 a) läßt schon den Schluß zu, daß die kubische Kompressibilität, d. i. der Bruchteil seines Volumens, um den ein Körper durch den Druck einer Atmosphäre zusammengedrückt wird, beim Hartporzellan nicht erheblich sein kann. Diese Größe hängt zwar ebenfalls sehr wesentlich von der Zusammensetzung der Masse ab, kann aber der Größenordnung nach zu

$$1{,}4 \text{ bis } 1{,}8 \cdot 10^{6}$$

angenommen werden. Die kleinere Zahl je mehr Quarz, die größere je mehr Feldspat die Masse enthält.

6. Mechanische Festigkeit.

Die mechanische Festigkeit des Hartporzellans ist weit erheblicher als gewöhnlich angenommen wird. Daß es trotzdem als Konstruktionsmaterial nicht mit an erster Stelle genannt werden kann, liegt daran, daß es keine Dehnung besitzt und somit spröde und gegen Schläge und Stöße empfindlich ist. Die größte Festigkeit besitzt es gegen

a) Druck.

Die Königl. mechanisch-technische Versuchsanstalt in Charlottenburg fand als Mittelwert *) aus sechs Versuchsreihen eine Druckfestigkeit von 4780 kg/qcm. Versuche, welche die Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. Schuckert & Co. in Nürnberg angestellt hatte, ergaben als Mittelwert 4520 kg/qcm.

Diese Festigkeitsziffern übertreffen jene der härtesten Gesteine (Basalt, Porphyr) um das Doppelte und bleiben nur um ein Drittel hinter jenen des Gußeisens zurück.

b) Zug.

Die Zugfestigkeit ist bei Porzellan nicht sicher feststellbar, weil es nicht gelingt, die Versuchsstäbe so herzustellen, daß alle Teile des Querschnittes wirklich nur auf Zug beansprucht werden. Es tritt infolge der unvermeidlichen kleinen Verwerfung beim Brande immer noch etwas Biegungsbeanspruchung auf. Aus drei größeren Versuchsreihen ergab sich als Mittelwert der Zugfestigkeit:

1300 kg/qcm, 1700 kg/qcm und 2000 kg/qcm.

Es sind dies Ziffern, die teilweise jene des Gußeisens übertreffen.

c) Biegung.

Aus einer großen Zahl von Beobachtungen, die zur Ermittelung des Elastizitätsmoduls (siehe unter 7) angestellt worden waren, ergab sich eine Biegungsfestigkeit (Biegungsmoment durch Widerstandsmoment) zwischen 420 und 560 kg/qcm, im Mittel also 490 kl/qcm.

7. Elastizitätsmodul.

Er wurde bestimmt aus der Durchbiegung einseitig eingespannter Stäbe und ergab, bezogen auf kg und qcm, die Werte

*) Prüfungsschein M. Nr. 4226. Die Einzelwerte waren 4690, 4270, 4250, 4920, 5410, 5140 kg/qcm.

540 000 bis 710 000,

im Mittel somit 625 000. Auch diese Werte bleiben nicht allzuviel hinter jenen des Gußeisens zurück.

8. Schallgeschwindigkeit.

Diese ist schwankend wie der Elastizitätsmodul, von dem sie abhängig ist, kann aber mit genügender Annäherung im Mittel zu 4900—5200 m/sec angenommen werden. Wäre die Ermittelung dieser Zahlen immer in einfacher Weise möglich, so könnten sie ein gutes Kriterium für die Beurteilung der Güte des Porzellans abgeben, denn je unedler und elektrisch minderwertig dieses ist, desto geringer die Schallgeschwindigkeit, die bei schlechten Porzellanen bis auf Werte von 3600 m/sec herabsinken kann. Da die Schallgeschwindigkeit eine Funktion der Tonhöhe ist, die das Porzellan beim Anschlagen gibt, so kann auch hieraus mit einiger Übung ein Schluß auf die Qualität gezogen werden; je heller und reiner der Ton, desto wertvoller das Porzellan.

9. Härte.

Die nachstehenden Zahlen entstammen Untersuchungen, welche Herr Prof. Dr. Linck, Jena, mit Hermsdorfer Hartporzellan anstellte. Die Härtezahlen sind mit dem Sklerometer ermittelt, teils mit Stahl-, teils mit Diamantspitze. Je größer die Zahl, desto größer die Härte. Um einen Vergleich mit der früher üblichen zehnteiligen Mohsschen Härteskala*) zu ermöglichen, sind hinter den Sklerometerzahlen in Klammern auch die Mohsschen Zahlen angegeben.

a) schwach verglühtes Porzellan 10—12 (2);
b) stark verglühtes Porzellan 22—25 (2,5);
c) unglasiertes, gargebranntes Porzellan 550—650 (7);
d) Glasur 950—1000 (8).

Zu der hohen Härteziffer der Glasur ist zu bemerken, daß diese Zahl nur für die Oberflächenschicht gilt, die in der Tat dem Diamantstift erst bei hoher Belastung einen Angriff gestattet. Unterhalb der Oberflächenschicht ist die Härte der Glasur — die das Porzellan für gewöhnlich in einer Stärke von $\frac{1}{3}$—$\frac{1}{2}$ mm umgibt — geringer

*) Talk (1), Gips (2), Kalkspat (3), Flußspat (4), Apatit (5), Feldspat (6), Quarz (7) Topas (8), Korund (9), Diamant (10).

und zwar etwa 350—400 (6,3). Aber gerade in der schweren Angreifbarkeit der Glasur liegt der technische Wert des Hartporzellans als Isoliermaterial, besonders für Glocken, die im Freien Wind und Wetter ausgesetzt sind. Es gibt kein anderes Material, das der Verwitterung der Oberfläche einen solchen Widerstand entgegensetzt wie das Hartporzellan, und die Glasisolatoren bleiben weit dahinter zurück, wie auch schon aus folgenden Zahlen geschlossen werden kann, die sich beziehen auf

amerikanische Hochspannungsglocken.

Glocke aus Glas	350—400 (6,3)
Glocke aus Porzellan	600—650 (7)

Die kleinere Zahl gilt für die Oberfläche, die größere für die Bruchfläche.

10. Wärmeleitungsfähigkeit.

a) relative Wärmeleitungsfähigkeit (bezogen auf Silber = 100) etwa 0,045,

b) absolute Wärmeleitungsfähigkeit, d. i. die Zahl, die angibt, wieviele mgr Wasser von 0^0 auf 1^0 erwärmt werden durch diejenige Wärmemenge, die in einer Sekunde durch 1 qmm Oberfläche einer ebenen Platte von 1 mm Dicke hindurchtritt, wenn zwischen beiden Seiten ein Temperaturgefälle von 1^0 besteht, etwa 0,2.

11. Spezifische Wärme,

d. i. diejenige Wärmemenge, welche erforderlich ist, um die Temperatur der Masseneinheit um 1^0 C. zu erhöhen (Wasser = 1 angenommen), etwa 0,17.

12. Elektrische Leitungsfähigkeit.

Die Leitungsfähigkeit ist der reziproke Wert des Widerstandes. Es ist ziemlich zwecklos, bei Nichtleitern von einer so hohen Wertigkeit wie das Hartporzellan ziffernmäßige Angaben über die Leitungsfähigkeit zu machen, denn die Zahlen sind außerordentlich schwankend und hängen in der Hauptsache von dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft, der Temperatur und sonstigen zufälligen Beschaffenheiten der Oberfläche des betreffenden Versuchskörpers ab. Die Zahlen geben somit

nicht so sehr eine Eigenschaft des Materials selbst wieder, als vielmehr die Eigenschaft des gerade herrschenden Oberflächenzustandes. Man spricht daher in der praktischen Elektrotechnik richtiger von Oberflächenisolation und weiß, daß diese*) nur von der Oberflächenbeschaffenheit abhängig ist und mit dem Material selbst -- sofern es nur zu den Nichtleitern gehört — wenig oder gar nichts zu tun hat. Daß trotz dieser Einschränkung das Hartporzellan bezüglich seiner Oberflächenisolation mit zu den vorzüglichsten Nichtleitern gehört, liegt daran, daß es eine außerordentlich harte Glasur (vergl. unter 9) besitzt, die von Wasser nicht benetzt wird und weder durch atmosphärische noch chemische Einflüsse, noch durch Wärme oder Kälte verändert wird. In dieser Beziehung steht Porzellan bekanntlich in der Elektrotechnik unerreicht da. Daher findet man auch einen spezifischen Widerstand, der bei gewöhnlicher Temperatur und Feuchtigkeit der Luft

bis zu $200 . 10^{10}$ Megohmcm

betragen kann und selbst unter ungünstigen Verhältnissen selten unter 2—3. 10^{10} Megohmcm heruntergeht. Wie bei allen Silikaten, gilt auch bei Porzellan, daß es im glühenden Zustande leitend wird. Über die Gesetzmäßigkeit dieses Vorganges ist näheres noch nicht bekannt.

13. Elektrische Durchschlagsfestigkeit.

Die bei weitem den Konstrukteur am meisten interessierende Eigenschaft des Porzellans ist seine Durchschlagsfestigkeit. Von dieser hängt in erster Linie die Wandstärke ab, die gewählt werden muß, damit mit genügender Sicherheit das Durchschlagenwerden durch die Spannung (Potentialdifferenz) verhindert wird. Daß die Durchschlagsfestigkeit sehr wesentlich von der Zusammensetzung der Masse abhängig ist, ist bereits gesagt. Hinzugefügt muß aber noch werden, daß auch die Behandlung der Masse während der Fabrikation von großer Wichtigkeit ist. Ebenso ist die Formgebung von einem gewissen Einfluß, da durch ungeschickte Anordnung und Verteilung der Massen, besonders an Übergangsstellen beim Brande, sich im Innern Risse oder drusige Stellen bilden können, die die Durchschlagsfestigkeit sehr herabsetzen. Erste Bedingung für eine hohe Durchschlagsfestigkeit ist daher ein homogener, vollständig verschmolzener Scherben. Woran man diesen

*) Bei gleicher Versuchsspannung.

erkennt, ist unter „Saugvermögen“ Seite 38 gesagt. Während für die Oberflächenisolation die Glasur die Hauptbedeutung besitzt, ist es für die Durchschlagsfestigkeit der Scherben, d. h. die Masse selbst. Es ist nicht richtig, anzunehmen, daß mit Vergrößerung der Wandstärke auch die Durchschlagsfestigkeit in gleichem Maße zunehme, denn je größer die Wandstärke, desto schwerer ist die dichte Verarbeitung der Masse und die innige Verschmelzung im Glattfeuer, und wenn gar an ein und demselben Formstücke sehr schwache und sehr starke Schichtendicken vorkommen, so sind, weil erstere früher gar als die letzteren werden, diese noch nicht genügend gesintert, wenn mit Rücksicht auf sonst eintretendes Überbrennen der schwachen Schichten, mit dem Feuer zurückgegangen werden muß. Aus diesem Grunde wird man auch manche Stücke aus getrennten Teilen in mehreren Feuern herstellen. Die Durchschlagsfestigkeit wird erhöht durch die Glasur, weshalb man auch für sehr hohe Spannungen, wenn es aus konstruktiven Gründen zulässig ist, mehrere Glasurschichten besonders dann anbringt, wenn das Formstück aus mehreren Teilen zusammengesetzt wird. Indessen ist es falsch, anzunehmen, daß die Glasur an sich eine höhere Durchschlagsfestigkeit besitzt als ein in seiner Zusammensetzung richtig gewählter, gut gargebrannter Scherben. Zahlreiche Versuche haben ergeben, daß es — unter dieser Voraussetzung — gleichgültig war, ob der Scherben glasiert ist oder nicht; die Durchschlagswerte wurden dadurch nicht beeinflußt. Die Wirkung der Glasur ist daher mehr eine mittelbare, indem sie beim Garbrande in die Oberfläche des Scherbens eindringt und so die Homogenität desselben erhöht. Durchaus verwerflich ist es für den Scherben, minderwertige Masse zu verwenden und durch eine entsprechende Glasurschicht allein die Durchschlagsfestigkeit erzielen zu wollen. Eine geringe Verletzung der Glasur, wie sie in der Werkstatt, durch Montagewerkzeuge, durch zu starke Bindung oder sonstige Zufälligkeiten vorkommen kann, zerstört die Voraussetzung, unter welcher solche minderwertige Fabrikate entstanden sind, und das Durchschlagenwerden ist die Folge. Auch tritt von selbst mit der Zeit ein Rissigwerden der Glasur ein, wenn sie auf unedler Masse aufgebrannt ist.

Die in Fig. 37 wiedergegebene Durchschlagskurve stellt die Abhängigkeit der Schichtendicke gargebrannten Hermsdorfer Hartporzellans in Abhängigkeit von der Spannung dar. Die Kurve ist das Mittel aus über 100 Versuchspunkten, die nach oben und unten von der gezeichneten Kurve mehr oder weniger abwichen, wie einige eingetragene Punkte erkennen lassen. Die Versuchsstücke hatten Platten-

form und lagen zwischen Kugel und Quecksilberspiegel. Die Dicke wurde an der Durchschlagsstelle gemessen. Die Spannung war sinusförmig und konnte durch Transformatoren bis auf 120 000 Volt gebracht werden. Die Frequenz war 50. Die in Fig. 37 eingetragenen

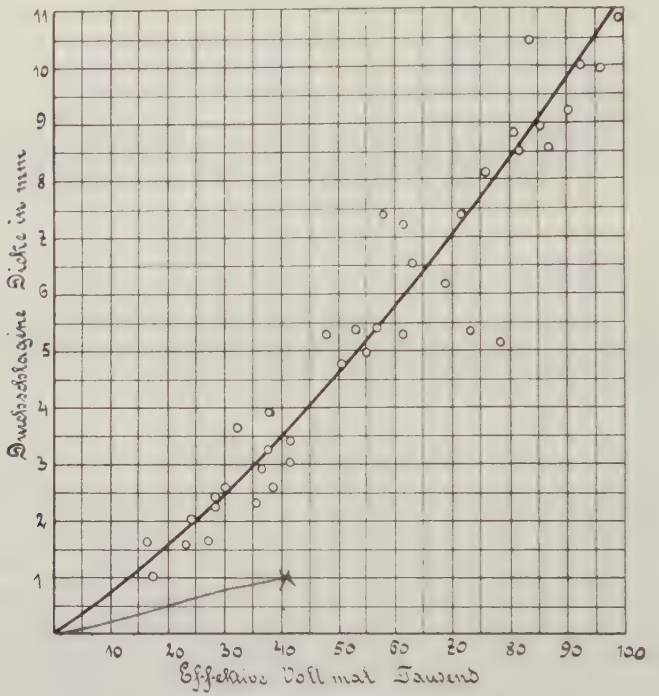


Fig. 37.

Spannungswerte sind effektive Volt, die maximalen Volt (Amplituden) sind somit 1,41mal größer. Die Kurve läßt erkennen, daß mit zunehmender Wandstärke die pro 1 mm Wandstärke erforderliche Durchschlagsspannung langsam abnimmt (vergl. hierzu E. T. Z. 1904 S. 7).

14. Dielektrizitätskonstante.

Die nachstehenden Zahlen über die Dielektrizitätskonstante des Hermsdorfer Hartporzellans (bezogen auf Luft = 1) entstammen Versuchen, welche Prof. Dr. Wirtz, Darmstadt, mit zwei größeren Plattenkondensatoren (mit Stanniolbelegen) anstellte. Die

a) mit Gleichstrom von 400 Volt gemessene Kapazität

betrug bei Kondensator I 2,51, bei Kondensator II 1,96 Mikrofarad.

Die aus diesen Messungen berechneten

Dielektrizitätskonstanten

ergaben für Kondensator I den Wert 5,34, für Kondensator II den Wert 5,32.

Die Größe der Rückstandsbildung

wurde mit verschiedenen Ladespannungen in der Weise untersucht, daß der Kondensator I geladen und dann mehrmals in Intervallen von je 20 Sek. entladen wurde. Es ergab sich

bei einer Ladespannung von		ein Rückstand in % der Ladung von		
a)	1260 Volt	12,6	5,4	3,8
b)	1045	11,6	5,1	2,7
c)	865	10,4	5,6	3,2
d)	761	10,0	4,5	2,7

Aus diesen Zahlen ergibt sich, daß die Rückstandsbildung mit der Spannung zunimmt, wenn auch nicht erheblich, und daß von der zweiten Entladung ab dieser Unterschied praktisch verschwindet. Die

b) mit Wechselstrom von 400 Volt gemessene Kapazität

betrug beim Kondensator I 2,19 Mikrofarad bei 50 Perioden und 2,14 Mikrofarad bei 100 Perioden, beim Kondensator II 1,82 Mikrofarad bei 50 Perioden und 1,77 Mikrofarad bei 100 Perioden.

Die Kapazitäten sind hiernach bei der doppelten Periodenzahl um 2—3 % geringer.

Vergleicht man diese Wechselstromkapazitäten*) mit den eingangsgenannten Gleichstromkapazitäten, so sind sie bei Kondensator I um etwa 14, bei Kondensator II um etwa 8 % geringer.

Die aus den Wechselstromkapazitäten berechneten

Dielektrizitätskonstanten

ergaben für Kondensator I den Wert 4,65 bei 50 Perioden und 4,55

*) die man genau genommen als scheinbare Kapazitäten bezeichnen müßte, da sie aus dem bei der Ladespannung aufgenommenen Gesamtstrome berechnet sind. Da die Verlustmessungen aber ergaben, daß die im Gesamtstrome enthaltene Watkomponente verschwindend klein ist, unterscheidet sich der Gesamtstrom nicht merklich vom eigentlichen Ladestrom, und die scheinbaren Kapazitäten werden zu wirklichen Kapazitäten.

bei 100 Perioden, für Kondensator II den Wert 4,94 bei 50 Perioden und 4,80 bei 100 Perioden.

Die vorstehend bezüglich der Kapazitäten angestellten Vergleiche bei Gleich- und Wechselstrom gelten natürlich auch für die Dielektrizitätskonstanten.

Auch über die in den Kondensatoren auftretenden

Verluste

hat Prof. Wirtz einige Versuche angestellt. Sie wurden nach der Dreivoltmetermethode mit Carpentierschen Spiegelelektrometern für Spannungen zwischen 200 und 400 Volt und 50 und 100 Perioden ausgeführt. Die Verluste v in Watt, abhängig von der Spannung e in Volt, konnten dargestellt werden durch die Formeln

für Kondensator I $v = 3{,}33 \cdot 10^{-7} \cdot e^2$ bei 50 Perioden
$v = 6{,}14 \cdot 10^{-7} \cdot e^2$ „ 100 „
„ Kondensator II $v = 3{,}01 \cdot 10^{-7} \cdot e^2$ „ 50 „
$v = 5{,}37 \cdot 10^{-7} \cdot e^2$ „ 100 „

Hieraus geht hervor, daß die Verluste an sich minimale waren, daß sie proportional dem Quadrat der Spannung sind und etwas langsamer zunehmen als die Periodenzahlen. Aus der Beziehung $v = c \cdot e^2$ ist der Schluß zu ziehen, daß die Kapazität und somit die Dielektrizitätskonstante von der Spannung unabhängig ist. Dies wird immer zutreffen für geringe spezifische Beanspruchung des Dielektrikums, wie sie bei diesen Verlustmessungen vorlag. Die Kondensatoren hätten ihrer Plattenstärke nach mit mehreren Tausend Volt beansprucht werden können, was nur unterblieben war, weil die verfügbaren Meßinstrumente dies nicht zuließen. Es muß daher die Frage offen bleiben, ob bei höherer Beanspruchung des Porzellans sich dieselbe Gesetzmäßigkeit ergibt. Die geringen Verluste ergeben weiter, daß die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung nur um etwa 1″ geringer als 90° ist (vergl. hierzu S. 90).

III. Die Isolatoren in der Schwachstromtechnik (Telegraphie, Telephonie), Signalwesen.

Von Oskar Otto.

A. Geschichte.*)

Wenn unter Telegraphie, wie dies heutzutage allgemein zu geschehen pflegt, ausschließlich die elektrische Telegraphie verstanden wird, so läßt sich ihre Entwickelung leicht bis zu ihrem Ausgangspunkte verfolgen. Wenn dagegen unter Telegraphie jede schleunige Nachrichtenübermittelung unter Zuhilfenahme von Naturkräften, seien es optische, akustische oder sonstige, angesehen wird, so erfreut sie sich schon eines recht ehrwürdigen Alters. Über die Entwickelung der Telegraphie bieten folgende Angaben einen flüchtigen Überblick:

Eine Spur des Begriffes „Telegraphie" — des beschleunigten Gedankenaustausches durch verabredete, in die Ferne wirkende Zeichen — findet sich nach Plutarch schon in der Theseussage, da Theseus mit seinem Vater Ägeus verabredet haben soll, auf der Rückkehr von Kreta nach glücklicher Überwindung des Minotaurus weiße Segel an Stelle der vorher stets benutzten schwarzen Segel zu setzen.

Der Gebrauch von Feuer- und Fackelzeichen reicht nachweisbar bis in die ältesten Zeiten zurück. Bekannt ist, daß — nach Äschylos' Trauerspiel „Agamemnon" — die Gattin Klytemnästra ihrem Gemahl durch Fackelzeichen Nachricht über den Fall Trojas von Kleinasien

*) Genaueres über die Entwickelung der Telegraphie findet sich außer in den technischen Werken von Schellen, Zetzsche, Dub u. a. in „Veredarius, das Buch von der Weltpost", in „50 Jahre elektrischer Telegraphie 1849—1899" (Jubiläumsschrift der deutschen Reichstelegraphenverwaltung), in „Ferd. Hennicke, das Reichspostmuseum", in „Jung, Entwickelung des deutschen Post- und Telegraphenwesens in den letzten 25 Jahren" u. a.

über den Hellespont nach Argos sandte, und zwar unter Verwendung von neun Feuerstationen auf der etwa 60 geographische Meilen langen Strecke.

Glaubwürdige Angaben über die Benutzung von verabredeten Feuerzeichen, also einer Art Fackeltelegraphie, finden sich bei Herodot (geb. 484 v. Chr.), Aristoteles (384—322 v. Chr.) und Thukydides (471—400 v. Chr.). Der griechische Geschichtsschreiber Polybius (203—121 v. Chr.) liefert gewissermaßen eine Geschichte der antiken Telegraphie. Plinius der Ältere (23—79 n. Chr.) erzählt, daß längs der asiatischen Küste Signaltürme errichtet waren, um die Annäherung von Seeräubern ankündigen zu können. Ebenso finden sich alte Signaltürme an den Küsten Irlands und Schottlands. Nach Cäsars „Geschichte des gallischen Krieges" haben die Römer sich der Feuersignale bedient. Die Gallier zeigten wichtige Nachrichten durch ein die Felder und Fluren durchdringendes Geschrei an, das von anderen aufgenommen und weiter überliefert wurde.

Der Militärschriftsteller Vegetius (etwa 400 n. Chr.) erwähnt, daß eine Verständigung der marschierenden Abteilungen bei Tage durch Rauch-, bei Nacht durch Feuersäulen stattfand, und daß an den Wartürmen der befestigten Plätze und Städte Balken angebracht waren, durch deren senkrechte oder wagerechte Stellung Nachrichten nach außen gegeben wurden.

Keine der verschiedenen Arten der Zeichengebung erfreute sich einer eingehenden Ausbildung. Alle beschränkten sich auf die Wiedergabe weniger verabredeter Signale und gerieten im Mittelalter völlig in Vergessenheit. Erst die große französische Revolution regte das Bedürfnis nach einer schnellen Nachrichtenübermittelung wieder an.

Das erste System der optischen Telegraphie legte im Jahre 1792 Claude Chappe der Französischen Nationalversammlung vor. Chappe brachte an einem hohen Maste einen verstellbaren Quermast an, der an jedem seiner Enden wiederum einen verstellbaren Flügel trug (Fig. 38) und konnte damit auf beliebige Entfernungen schnell jede Nachricht übermitteln. Auf der ersten, 1794 errichteten Telegraphenlinie dieser Art Paris—Lille, die bei einer Länge von 230 km 20 Stationen hatte, brauchte eine Nachricht bei günstiger Witterung nur 20 Minuten. Diese Linie wurde 1798 bis Dünkirchen, 1803 bis Brüssel verlängert. 1798 entstand die Linie Paris—Straßburg mit 49 Stationen usw.

Unter Verwendung des Chappeschen Systems mit mehr oder weniger praktischen Änderungen folgten 1794 Schweden, 1796 Eng-

land, 1802 Dänemark und Rußland, letzteres mit den Telegraphenlinien Petersburg—Warschau und Petersburg—Moskau. Rußland benutzte einen Mast mit zwei beweglichen Armen (Fig. 39), England ein Gerüst mit sechs um Achsen drehbaren Scheiben, von denen je zwei verschiedene Stellungen einnehmen konnten.

Preußen folgte erst 1832 mit der Telegraphenlinie Berlin—Koblenz, auf der die Stationen 6—15 km voneinander entfernt waren. Der Telegraph bestand aus einem Hauptmast, an dem drei Paare beweglicher Flügel angebracht waren, von denen jeder vier verschiedene — um 45° voneinander abweichende — Stellungen annehmen konnte (Fig. 40). Der Linie Berlin—Koblenz folgten bald andere. Die ganze optische Telegraphie war streng militärisch organisiert und diente aus-

Fig. 38.

Fig. 39.

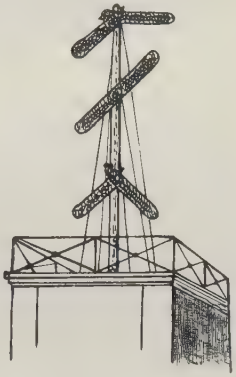


Fig. 40.

schließlich den Zwecken der Regierung. Die Telegraphenbeamten nahmen die Zeichen, deren Bedeutung ihnen unbekannt war, maschinenmäßig auf und gaben sie ebenso weiter. Eine Entzifferung der Nachrichten erfolgte erst auf den Telegrapheninspektionen. Der Einrichtung hafteten viele Gebrechen an, die eine Benutzung stark beeinträchtigten. Da der Apparat ausschließlich das Sehvermögen in Anspruch nahm, so erforderte er eine recht anstrengende, geisttötende Aufmerksamkeit des Beamten, der dauernd mit dem Fernrohr auf der Lauer liegen mußte. Außerdem war die Verständigung von der Tageszeit und dem Wetter abhängig. Die Arbeit wurde durch trübes Wetter erschwert, durch nebeliges überhaupt verhindert, so daß man, als die neu aufgetauchte „elektrische" Telegraphie aus den Kinderschuhen heraus war und sich für den allgemeinen Verkehr als geeignet erwiesen hatte, die alte „Holztelegraphie" gern fallen ließ.

Die Entwickelung der elektrischen Telegraphie war inzwischen folgendermaßen vorgeschritten:

Im Jahre 1789 bemerkte der Professor Aloisio Galvani zu Bologna, daß frisch gehäutete Froschschenkel, die mit Kupferdrähten an einem eisernen Geländer aufgehängt waren, in Zuckungen gerieten, sobald sie mit dem Eisen in Berührung kamen. Durch fortgesetzte Versuche gelang es Prof. Alexander Volta zu Pavia im Jahre 1792, die Ursache jener Erscheinung in der Berührungselektrizität zu finden und in der nach ihm benannten Säule oder Kette eine Vorrichtung herzustellen, durch welche die neu gefundene Elektrizitätsquelle in ihrer Wirksamkeit erheblich gesteigert werden konnte. Die Voltasche Säule in Verbindung mit dem von Thomas von Sömmering 1809 erfundenen Telegraphenapparat zeigt den ersten gelungenen Versuch, mittels des galvanischen Stromes durch Zersetzung von Wasser in seine Bestandteile Zeichen in die Ferne zu senden. Der Apparat ist praktisch nicht zur Verwendung gekommen.

Im Jahre 1819 machte der Däne Professor Hans Christian Oersted in Kopenhagen die Entdeckung, daß der an einer Magnetnadel vorübergeführte galvanische Strom diese aus ihrer Ruhelage ablenkt. Oersted ist somit als geistiger Urheber des Nadeltelegraphen zu betrachten. Für die Richtung des Ausschlages der Nadel gab der Franzose Professor André Marie Ampère sein bekanntes Gesetz, die sogenannte Ampèresche Schwimmregel.

Den ersten brauchbaren Nadeltelegraph baute 1832 der russische Staatsrat Baron Schilling von Kannstadt, der fünf Nadeln an Seidenfäden aufhängte und ihre Bewegung durch Anschlagstifte begrenzte. Er stellte aus der Ablenkung einer oder mehrerer Nadeln nach rechts oder links ein völliges Alphabet nebst Zahlen und Zeichen zusammen. 1833 bauten die Professoren Karl Friedrich Gauß und Wilhelm Weber zu Göttingen ihren Nadeltelegraph unter Verwendung nur einer Nadel und schafften durch Zusammenstellung einer oder verschiedener Nadelbewegungen ein Alphabet.

Aus dem Jahre 1836 stammt der von Steinheil zu München hergestellte Telegraphenapparat, bestehend aus zwei Magnetnadeln, die bei ihrer Ablenkung nach rechts oder links gegen zwei verschieden abgestimmte Glocken schlagen. Sollten dem Auge wahrnehmbare Zeichen gebildet werden, so wurden feine, mit Farbe gefüllte Röhrchen auf die Nadeln gesteckt, die bei ihrer Bewegung gegen einen mechanisch an ihnen vorbeibewegten Papierstreifen schlugen und auf ihm zwei Reihen von Punkten hervorbrachten.

Steinheil machte dann 1838 die vom technischen und besonders vom wirtschaftlichen Standpunkt aus hochwichtige Entdeckung, daß die Erde die Stelle der metallischen Rückleitung einnehmen kann.

Der in Deutschland erfundene Nadeltelegraph wurde in England durch Cooke und Wheatstone vervollkommnet und 1837 auf der Nordwestbahn in London zuerst in Dienst gestellt. Beide Erfinder bauten auch in Belgien 1846 die erste elektrische Telegraphenlinie zwischen Antwerpen und Brüssel.

1840 konstruierte Wheatstone den ersten Zeigertelegraphen. Bei dieser Gattung von Apparaten, die die Nadeltelegraphen bald verdrängten, dreht sich ein Zeiger über einer mit Buchstaben usw. versehenen Scheibe und wird bei dem zu übermittelnden Buchstaben angehalten. Weitere Zeigertelegraphen erfanden: Fardely (Mannheim 1843), Stöhrer (Leipzig 1845), Leonhard (Berlin 1845), Bréguet (Paris 1845), Siemens (Berlin 1846) u. a.

Aber auch die Zeigertelegraphen waren bald den steigenden Anforderungen der Technik nicht mehr gewachsen und mußten allmählich dem Morseapparat weichen. Der Amerikaner Morse benutzte die 1820 von dem Franzosen Arago gemachte Entdeckung, daß ein Stück weiches Eisen, das vom elektrischen Strom umflossen wird, während der Dauer desselben Magnetismus annimmt und einen über ihm schwebenden leichten Eisenanker anzieht. Die Bewegungen des Ankers wurden durch Hebelübertragung zuerst als Reliefschrift — Striche und Punkte — und später in farbigen Zeichen dem Auge sichtbar und unverwischbar niedergeschrieben.

Der Morsetelegraph wurde 1844 zum erstenmal zwischen Baltimore und Washington benutzt und hat dann seinen Siegeslauf über die ganze Welt angetreten. Er wird noch heute in den meisten Ländern zur Abwickelung des Verkehrs geringeren Umfanges verwendet.

Nunmehr beteiligten sich die Elektrotechniker und Mechaniker aller Länder an der weiteren Entwickelung und Vervollkommnung der Telegraphenapparate, worauf hier nicht weiter eingegangen werden kann. Erwähnt seien nur die verabredete Zeichen liefernden Apparate von Bain, Siemens, Wheatstone, Delany, Meyer sowie die Typendruckapparate von Hughes, Baudot, Rowland, Murray usw.

In Deutschland wendete der damalige preußische Telegraphendirektor O'Etzel der elektrischen Telegraphie sein besonderes Interesse zu und erörterte in einer 1840 vorgelegten Denkschrift u. a. die für die Entwickelung der elektrischen Telegraphie zunächst ungemein wichtige Frage über die Wahl oberirdischer oder unterirdischer Linien-

führung und über die Verwendung der verschiedenen Isoliermaterialien. Dabei kamen folgende Gesichtspunkte in Frage: Bei der Führung der Drähte in der Erde war es wichtig, sie untereinander und von dem feuchten Erdboden möglichst vollständig zu isolieren, sie gleichzeitig gegen zufällige Beschädigungen zu schützen und absichtliche Beschädigungen zu erschweren. Die Isolierung sollte durch Überspinnung der Drähte mit Hanf oder Baumwolle, die dann mit harzigen Substanzen, am zweckmäßigsten Kautschuk, bedeckt werden sollten, erreicht werden. Zum Schutze des isolierenden Überzuges gegen äußere Einflüsse wurde die Einbettung der Drähte in Röhren erwogen. Zur Erschwerung einer absichtlichen Verletzung sollte die Leitung etwa 1 m tief unter einer Chaussee verlegt werden, wo das Aufgraben schwierig war und unbemerkt nicht geschehen konnte. Im Falle einer Beschädigung wäre die Stelle leicht zu finden gewesen. Die Einbettung der Linie in das Planum einer Eisenbahn hätte die Beaufsichtigung wesentlich erleichtert. Andererseits wurde bei einer Führung der Drähte durch die Luft ihre Isolierung für recht einfach gehalten. Es erschien ausreichend, unbesponnene Drähte zu verwenden und die Stangen an den Stellen, wo sie von den Drähten berührt wurden, zu teeren oder mit einer Kautschukplatte zu versehen. Die oberirdische Führung verlangte gegenüber der unterirdischen allerdings dauernde Beaufsichtigung, hatte aber den Vorteil, daß Fehler bald entdeckt und beseitigt werden konnten, weshalb auch die Führung der Linien längs der Bahn die besten Garantien für eine ordnungsmäßige Beaufsichtigung bot.

Die Erfahrung hat gelehrt, daß vorstehende Grundsätze über die Herstellung und Bewachung von Telegraphenlinien im allgemeinen auch heute noch maßgebend sind.

O'Etzel wollte darnach eine Telegraphenlinie bauen, in welcher der Leitungsdraht mit einer harzigen Asphaltmasse als Isolier- und gleichzeitig Schutzhülle umgeben werden sollte. Dieser Plan kam jedoch nicht zur Ausführung. Dagegen wurde 1841 eine Versuchslinie zwischen Berlin und Potsdam aus vierfach verseiltem Eisendrahte hergestellt. Die Isolierung des Drahtes an den etwa 6 m über dem Boden mit Querträgern versehenen Stangen wurde durch Kautschukplatten bewirkt.

Im Jahre 1844 wurde eine aus Hin- und Rückleitung bestehende unterirdische Linie zwischen Berlin und Sanssouci bei Potsdam begonnen, bei der die Kupferleiter durch Umspinnung und einen Kautschuküberzug isoliert waren. Diese Leitung wurde später als Einzel-

leitung betrieben, und zwar wurden auf jeder Station als Erdplatten 1,8 qm große Kupferbleche in den Boden versenkt. Ferner kam im Jahre 1844 die 8,8 km lange oberirdische Telegraphenlinie Kastel—Wiesbaden zur Ausführung und wurde 1845 bis Biebrich verlängert. Dasselbe Jahr brachte noch die für bahndienstliche Korrespondenz bestimmte oberirdische Linie mit Kupferleiter Dresden—Radeberg, bei welcher der Leitungsdraht in einen Einschnitt am Zopfende der Stangen gesteckt wurde, wo er durch Holzkeile festgehalten und durch Glasröhrchen vom Holz isoliert wurde. Die 1846 errichtete elektrische Leitung zwischen Bremen und Bremerhaven ist insofern bedeutungsvoll, als sie mit der auf gleicher Strecke bestehenden optischen Linie konkurrieren mußte, bis sie 1848 allein das Feld behauptete.

Im Jahre 1847 wurde eine zirka 4000 m lange Linie mit zwei Leitungen in den Damm der Potsdamer Bahn ausgelegt. Von den 1 m tief eingegrabenen Drähten war der eine mit Kautschuk, der andere mit Baumwolle und einem starken Wachsüberzug isoliert. Das zweite Verfahren bewährte sich nicht. Dagegen erschien das von dem Artillerieleutnant Werner Siemens versuchte Verfahren, die Drähte mit der gerade in den Handel gekommenen Guttapercha zu umpressen, günstige Erfolge zu versprechen. Die Guttapercha wurde durch Beimischung von Schwefel geschmeidiger gemacht. Derartige Linien wurden 1847 an der Berlin-Anhalter Bahn, 1848 zwischen Berlin und Großbeeren (19 km) hergestellt und gestatteten eine befriedigende Telegraphierverständigung, wenngleich die Umpressung der Drähte mit Guttaperchaplatten technisch zunächst nur recht mangelhaft ausgeführt werden konnte. Die Drähte wurden nämlich mit zwei zu Halbzylindern ausgewalzten Guttaperchariemen belegt, die durch ein Walzwerk wieder vereinigt wurden, sich bei Biegungen aber leicht trennten.

Nachdem diese Vorversuche den Bau von elektrisch betriebenen Telegraphenleitungen als aussichtsreich erwiesen hatten, konnte im Jahre 1849 mit der Herstellung längerer Linien begonnen werden. Die Beschaffung der erforderlichen Menge von Isolations- und Leitungsmaterial bereitete zwar zunächst Schwierigkeiten. Die von England bezogene Guttapercha war roh und wasserhaltig und konnte erst nach zeitraubenden Versuchen in eine gereinigte, wasserfreie Masse verwandelt werden. Ferner war die erforderliche Menge Kupferdraht von den Drahtziehereien Westfalens nicht zu erhalten und mußte schließlich in Berlin selbst hergestellt werden.

Nach Überwindung aller Schwierigkeiten wurden 1849 zunächst

die großen Linien Berlin—Frankfurt (Main) mit den Zwischenstationen Jüterbogk, Cöthen, Halle, Erfurt, Eisenach, Kassel und Gießen (653 km) — zum Teil oberirdisch — und Berlin—Aachen mit den Zwischenstationen Magdeburg, Aschersleben, Braunschweig, Hannover, Minden, Hamm und Düsseldorf (705 km) gebaut. Hierauf folgten die Linien Berlin—Hamburg (285 km), Berlin—Stettin (135 km), Halle—Leipzig (34 km), Düsseldorf—Elberfeld (26 km), Breslau—Oderberg (180 km), Berlin—Breslau (360 km) und ferner 1850 Dresden—Leipzig, Dresden—Bodenbach, Leipzig—Hof, München—Salzburg, München—Augsburg—Hof, Bamberg—Würzburg—Aschaffenburg, Heilbronn—Stuttgart—Friedrichshafen usw.

Nachdem das Telegraphennetz in dieser vorher nicht für möglich gehaltenen Weise ausgebaut worden war, hielt man den Zeitpunkt für gekommen, die Telegrapheneinrichtungen, die bisher nur Staatszwecken gedient hatten, den Interessen der Allgemeinheit zu erschließen und dem großen Publikum als gemeinnützige Verkehrsanstalt zugänglich zu machen. Die Bedingungen hierfür regelte ein am 1. Oktober 1849 in Kraft getretenes Regulativ, in dem einige Bestimmungen heutzutage recht seltsam erscheinen. Zum Beispiel war die Annahme und Beförderung von Telegrammen verboten, die nicht den Namen des Absenders als Unterschrift trugen. Mehr als 100 Worte für ein Telegramm waren unzulässig; ebenso war die Verwendung einer fremden Sprache verboten. Änderungen und Streichungen wurden nicht zugelassen, mit Bleistift geschriebene Telegramme zurückgewiesen. Wer etwa mehr als ein Telegramm gleichzeitig aufliefern wollte, dem wurde bedeutet, daß solche Massenauflieferung sich mit den maßgebenden Verwaltungsgrundsätzen nicht vereinbaren ließe.

Mit der vorwiegend unterirdischen Führung, die nur streckenweise durch oberirdische unter Verwendung einer der vorbeschriebenen mangelhaften Isolationsarten ersetzt wurde, hatte man inzwischen recht trübe Erfahrungen gemacht. Es wurde daher 1852 der Übergang zur oberirdischen Linienführung beschlossen, da die unterirdischen Leitungen sich zu einem Herde zahlloser Störungen ausgebildet hatten und die Sicherheit des Betriebes in hohem Grade gefährdeten. Der Grund hierfür war die unvollkommene Isolierung und Bewehrung der Drähte. Man hatte nämlich die Guttapercha nicht in reinem Zustande, sondern mit Schwefel vermischt (vulkanisiert) um die Drähte gepreßt und damit eine Verbindung des Schwefels mit dem Kupfer des Leiters ermöglicht, wodurch die nächstliegenden Schichten der Guttapercha kupferhaltig und somit leitend gemacht worden waren. Dadurch ver-

loren die anfangs gut isolierten Leitungen schon nach verhältnismäßig kurzer Zeit einen Teil ihrer Isolation. Weitere Fehler zeigten sich da, wo die Leitung in leichtem sandigen Boden lag, da die Guttapercha durch den Einfluß der Sonnenwärme holzig und brüchig wurde. Noch andere Veränderungen ihrer Struktur erlitt die Guttapercha in Kalk-, Lehm- und Mergelboden; auch gaben die zahlreich vorhandenen Luftblasen zu Fehlern Veranlassung. Schließlich fraßen auch Nagetiere die unzureichend oder gar nicht geschützten Drähte an, oder abergläubische und böswillige Leute zerschnitten die Drähte, da sie die Telegraphen als Teufelswerk oder als volksfeindliche Anlagen ansahen, die nur dazu dienen sollten, schleunigst Truppen herbeizurufen.

Man ging daher zur oberirdischen Leitungsführung über, und zwar um so lieber, als man durch Verwendung des billigeren Eisendrahtes an Stelle des teureren Kupferdrahtes die Anlagekosten wesentlich vermindern konnte. Außerdem hatte man über das Isolationsvermögen fester Körper inzwischen weitere Erfahrungen gemacht und in Glas, Steingut und vornehmlich Porzellan diejenigen Stoffe erkannt, welche man zur Isolierung des freihängenden Drahtes besonders gut verwenden konnte. Allerdings kostete es jahrelange Versuche, eine zweckmäßige Form für den Isolator zu finden.

B. Formen.*)

Zur Isolierung der ersten aus Kupferdraht hergestellten Leitungen wurden in Preußen einfache Glocken aus dünnem Porzellan nach der von Werner Siemens angegebenen Form verwendet (Fig. 41). Der Hals des Isolators hatte oben eine Einschnürung, um welche der Kupferdraht einmal herumgelegt wurde. Infolge von Reibung und Drahtzug war das feine Porzellan jedoch vielfachen Beschädigungen ausgesetzt. Insbesondere brach der Kopf häufig ab. Außerdem wurde der Isolator bei feuchtem Wetter unwirksam. Nach der Einführung des stärkeren Eisendrahtes an Stelle des dünneren Kupferdrahtes 1852 mußten auch stärkere, anders geformte Porzellanglocken in Gebrauch genommen werden. Und da der weniger biegsame Eisendraht nicht um den Glockenkopf gewickelt werden konnte, so wurde der Kopf oben mit einem Einschnitt, der Hals mit einer Rille versehen, wodurch eine Befestigung des Drahtes in oberer und seitlicher Bindung ermöglicht

*) A. Merling, die Telegraphentechnik der Praxis. Archiv für Post und Telegraphie, Jahrgang 1892.

wurde (Fig. 42). Der untere Teil der Glocke war ausgekehlt, um das Aufsteigen des bei Regen am äußeren Mantel ablaufenden Wassers an der Innenseite zu erschweren. Der in den Einschnitt am Kopfe des Isolators eingepreßte Draht verursachte aber häufig eine Spaltung des Kopfes oder sprengte den Kopf ganz ab. Man versuchte daher 1854, den oberen Teil des Kopfes mit einer gußeisernen Kappe zu versehen. Damit war einem Absprengen des Kopfes zwar vorgebeugt, einem Zersprengen der Glocke wegen der bei Temperaturschwankungen ungleichen Ausdehnung des Porzellans, des Eisens und des Kittes (Schwefel) aber nicht. Außerdem war die Glocke zu dünn, um den mechanischen Einwirkungen des Drahtzuges zu widerstehen.

Man entschloß sich daher 1855, nach dem Muster amerikanischer Telegraphengesellschaften eiserne Isolierglocken mit eingekittetem Porzellanfutter zu verwenden. Als Kitt zwischen beiden sowie zwischen

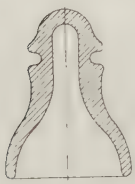


Fig. 41.

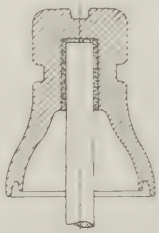


Fig. 42.

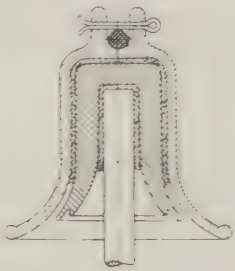


Fig. 43.

Porzellanfutter und eiserner Stütze wurde zunächst Schwefel — rein oder mit einem Zusatz von Sand oder Ziegelmehl — und später ein Gemisch von Kolophonium und Ziegelmehl verwendet (Fig. 43). Der eiserne Glockenkopf lief in zwei durchbohrte Lappenansätze aus, zwischen die der Leitungsdraht lose eingelegt war. Festgehalten wurde der Draht vermittels eines durch die Durchbohrungen gesteckten federnden Splintes.

Bei Drahtbrüchen trat die unangenehme Erscheinung auf, daß der Draht nach beiden Seiten auf eine größere Anzahl von Stangenintervallen durchglitt. Um dies zu verhindern, brachte man 1856 an jeder zehnten bis zwölften Stange stärkere Glocken, sogenannte Spannisolatoren, an. Sie trugen auf dem Kopfe zwei starke Ansätze, die ein konisches Loch bildeten (Fig. 44). In dieses paßten zwei halbkonische, etwas ausgehöhlte und innen rauh gehaltene Eisenkeile, die den Draht zwischen sich festklemmten.

Der eiserne Isolator zeigte zwar größere Widerstandsfähigkeit als sein Vorgänger, erwies sich aber trotzdem nicht als brauchbar. Der Hauptnachteil lag darin, daß bei feuchtem Wetter die innere Höhlung der Glocke bis zur Stütze feucht wurde und dem Strom über Stütze und Stange einen Weg zur Erde oder zur Nachbarleitung bot. Schon bei mäßig feuchter Witterung blieb eine Verständigung auf weitere Entfernungen unmöglich.

Die interessante Form eines Spannisolators bietet der in Fig. 45 und 46 dargestellte, auf der Stadtmauer in Berlin benutzte Isolator. Die kurze, breite Porzellanglocke hatte in ihrem starken Kopf eine Durchbohrung mit eingesetzter Metallbüchse, in welcher der Draht durch zwei Metallkeile festgehalten wurde.

Einen wesentlichen Fortschritt stellt der 1857 eingeführte, aus Glas bezw. Porzellan hergestellte, mit einer quadratischen Öffnung

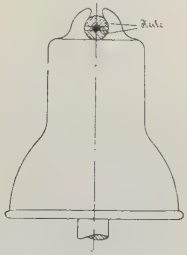


Fig. 44.

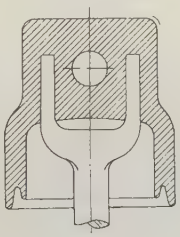


Fig. 45.

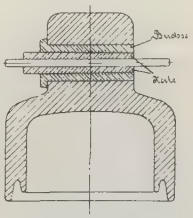


Fig. 46.

zur Aufnahme einer Stütze von ebensolchem Querschnitte versehene Borngrevesche Isolator dar (Fig. 47). Durch Verstärkung des Porzellanmantels, Beseitigung des oberen Drahtlagers, das durch eine Auskehlung unterhalb des Kopfes ersetzt wurde, und Festbindung des Drahtes an jedem Stützpunkte wurde eine größere Sicherheit der Anlage erstrebt. Eine scharfe, zolltiefe Ausbuchtung auf der unteren Seite sollte die sich etwa bildende Feuchtigkeitsschicht unterbrechen. Allein auch dieser Isolator ließ, besonders bezüglich der Festigkeit der Glocke, zu wünschen übrig.

Es trat daher 1857 eine Kommission von Gelehrten und Fachmännern in Berlin zusammen und entschied sich nach langwierigen Beratungen und Untersuchungen für den sogenannten Kommissionsisolator (Fig. 48), eine Glas- bezw. Porzellanglocke von bedeutender Länge und geringem Durchmesser der inneren Höhle. Die eigenartige Form sollte besonders die Bildung feuchter Niederschläge im Innern der Glocke verhindern. Man verlängerte daher den Mantel

des Isolators, soweit dadurch seine Festigkeit und Verwendbarkeit nicht beeinträchtigt wurde, um in der engen Höhlung zwischen Stütze und innerer Mantelfläche eine ruhende Luftschicht von großer Höhe zu erreichen. Von der Anwendung des versuchsweise benutzten weißen Glases erwartete man namentlich die Verjagung der Insekten, die erfahrungsgemäß in engen, dunklen Räumen gern nisten und das Innere der Isolatoren verunreinigt hatten. Das Glas bedeckte sich jedoch bald mit Rauch, Staub, ablaufendem Rost usw. und war außerdem nicht haltbar genug, so daß man sich für die Weiterverwendung des besseren Porzellans entschied (vergl. hierzu S. 97).

Sämtliche Isolatoren wurden durch den 1858 von Chauvin, dem damaligen preußischen Generaldirektor, vorgelegten Isolator mit doppeltem Mantel, die sogenannte Porzellandoppelglocke, bei weitem in

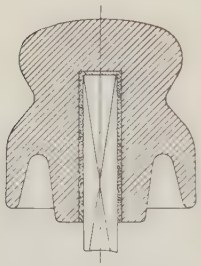


Fig. 47.

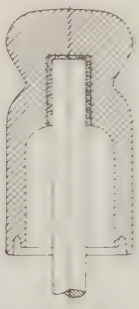


Fig. 48.

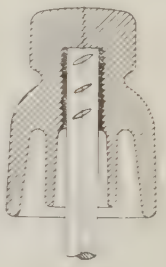


Fig. 49.

den Schatten gestellt. Der Chauvinisolator (Fig. 49) besteht aus einer äußeren Glocke mit kräftigem, außen senkrecht abfallendem, sich nach unten verjüngendem Mantel, einer Einschnürung am Halse für das seitliche Drahtlager und einer halbkreisförmig ausgerundeten Vertiefung auf dem Kopfe für das obere Drahtlager. Die innere Glocke, ein etwas schwächerer und kürzerer Zylinder, wird durch die äußere Glocke völlig bedeckt. Der große Vorteil der Doppelglocke liegt darin, daß die Wärmeausstrahlung der inneren Glocke durch die sie bedeckende äußere Glocke vermindert wird, während die zwischen beiden Glocken ruhende Luftschicht Schutz gegen Wärmeableitung bietet. Hierbei werden die Temperaturschwankungen der inneren Glocke so verlangsamt, daß eine Befeuchtung der innersten Oberfläche kaum eintreten kann. Aber selbst wenn die Glockenwände innen und außen völlig feucht sind, so ist doch dem Stromübergang ein längerer Weg und damit ein größerer Widerstand geboten, so daß ein den Betrieb verhindernder Stromverlust nicht eintreten kann. Schließlich bietet

die Doppelglocke noch den Vorteil, daß sie gegen äußere mechanische Einwirkungen (Steinwürfe usw.) wegen der Stärke ihres Mantels ziemlich widerstandsfähig ist und bei Zertrümmerung eines Teiles des Mantels an Isolationsfähigkeit nicht wesentlich einbüßt. Aus allen diesen Gründen wurde die Porzellandoppelglocke wegen ihrer unbestreitbaren Überlegenheit über die übrigen Isolatoren von 1862 an beispielsweise in der preußischen Verwaltung allgemein eingeführt. Die Porzellandoppelglocke ist dann typisch für die Mehrzahl der Isolatoren geworden und in ihrer ursprünglichen Form mit nur unwesentlichen Abweichungen auch heute noch für Schwachstromzwecke vielseitig verwendet.

So viel über die Entwickelung der Porzellandoppelglocke. Es ist unmöglich, die vielen Phasen, die ihr Lebenslauf im In- und Auslande

Fig. 50. 1 : 3,6.

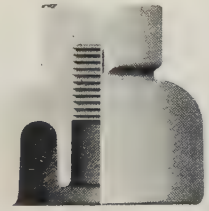


Fig. 51. 1 : 3,5.

Fig. 52. 1 : 2.

bisher aufweist, in gedrängter Kürze auch nur einigermaßen vollständig zusammen zu stellen, ebensowenig wie es möglich ist, die vielen Hunderte der jetzt für die Schwachstromtechnik vorhandenen Isolatorentypen auf wenigen Seiten zu beschreiben. Es ist dies auch nicht nötig, da viele Typen nur unwesentlich voneinander abweichen und für bestimmte Zwecke überhaupt nicht konstruiert sind. Vielmehr sind sie je nach der Art der Anlage und des zur Verwendung kommenden Leitungsmaterials, nach den verfügbaren Mitteln und dem Geschmack des Bauleiters in allen Gebieten der Schwachstromtechnik (Telegraphie, Telephonie und Signalwesen), in ihren größeren Formen auch für die Starkstromtechnik, soweit mittlere Spannungen in Betracht kommen, verwendbar.

Haupterfordernis für gute Porzellanisolatoren ist, daß sie aus bestem Hartporzellan hergestellt werden, eine hohe Oberflächenisolation haben

und eine gute, gegen Witterungs- und sonstige atmosphärische Einflüsse genügend widerstandsfähige Glasur erhalten (vergl. hierzu S. 89).

Aus dem reichhaltigen Katalog der Porzellanfabrik Hermsdorf-Klosterlausnitz seien folgende Typen erwähnt:

Fig. 50 stellt den von der Reichstelegraphenverwaltung in zwei Größen verwendeten, für Kopf- und Seitenbindung und für Schrauben-

Fig. 53. 1 : 2.

Fig. 54. 1 : 2.

Fig. 55. 1 : 2.

Fig. 56. 1 : 3,5.

stützen eingerichtete (größere) Porzellandoppelglocke dar. Die innere Glocke ist ein wenig kürzer als die äußere.

Fig. 51 stellt eine Type dar, bei der zur Erleichterung der Befestigung des Bindedrahtes scharfe seitliche Einschnitte am Kopf angebracht werden. Diese Type eignet sich für Kopf- und Seitenbindung.

Fig. 52 ohne obere Kopfeinschnitte, Fig. 53 mit oberen Kopfeinschnitten sind kleine leichte Typen in Doppelglockenform, während

Fig. 57. 1 : 2,5.

Fig. 58. 1 : 3,5.

Fig. 59. 1 : 3,5.

Fig. 60. 1 : 3,5.

Fig. 54 ohne obere Kopfeinschnitte, Fig. 55 mit oberen Kopfeinschnitten kleine leichte Typen in einfacher Glockenform darstellen.

Fig. 56 ist eine größere konisch gestaltete Doppelglocke mit glattem Kopfe.

Bei Fig. 57 ist die Höhe des Luftraumes zwischen der äußeren und der inneren, bisweilen kaum angedeuteten Glocke sehr gering. Die Glocken sind zum Teil für glatte Stützen eingerichtet.

Fig. 58 mit auffallend langem Hals und Fig. 59 sind mit Durchbohrungen des Kopfes versehen.

Fig. 60 und 61 zeigen neben runden, eckigen oder keilförmigen, senkrecht verlaufenden Einschnitten wagerechte Durchbohrungen im Kopfe.

Fig. 61. 1 : 3,5.

Fig. 62. 1 : 3,5.

Fig. 63. 1 : 3,5.

Fig. 62 stellt eine mittelschwere Form, auch für Starkstromzwecke geeignet, dar.

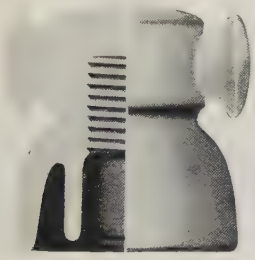


Fig. 64. 1 : 2,5.

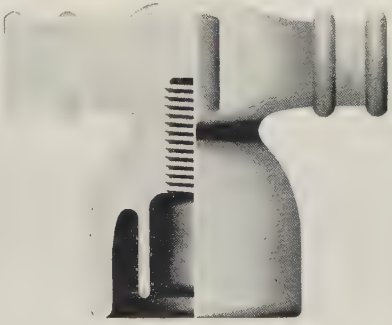


Fig. 65. 1 : 3,5.

Fig. 63 ist ein Krückenisolator, Fig. 64 ein Doppelkrückenisolator. Fig. 65 stellt einen Dreikrückenisolator dar.

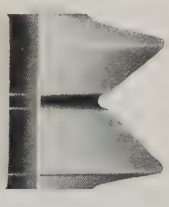


Fig. 66. 1 : 2.

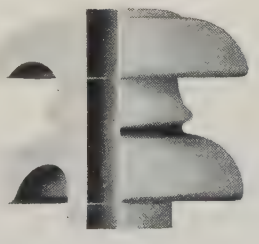


Fig. 67. 1 : 2,5.

Fig. 66 und 67 sind Spannisolatoren verschiedener Form. Fig. 80 zeigt die Anwendung.

Fig. 68 und 69 sind Mantelisolierrollen.

Eine interessante Zusammenstellung von größtenteils in überseeischen Ländern verwendeten Isolatorentypen zeigt ein von Siemens Brothers & Co. in London herausgegebener Katalog*), dessen Typen

Fig. 68. 1 : 2.

Fig. 69. 1 : 2.

auch in dem Exportkatalog der Porzellanfabrik Hermsdorf, aber meistens ohne Armatur, enthalten sind und aus dem folgende Stücke herausgegriffen seien:

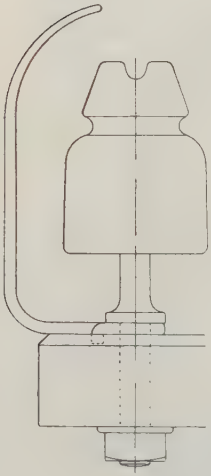


Fig. 70.

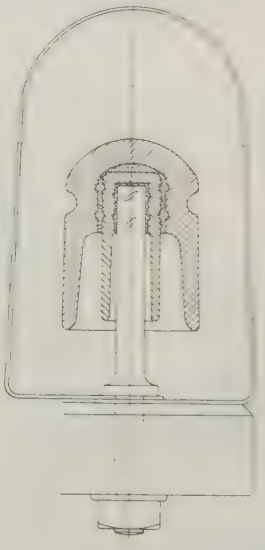


Fig. 71.

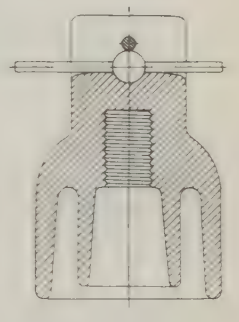


Fig. 72.

Fig. 70 zeigt eine Porzellandoppelglocke auf gerader Stütze für Holzgestänge, die zur Vermeidung eines Abrutschens des Leitungsdrahtes mit einem eisernen Schutzhalbbügel versehen ist. Die Glocke eignet sich für Kopf- und Seitenbindung.

*) Siemens Brothers & Co., London, Materials for the construction of land telegraph lines.

Fig. 71 zeigt eine ähnliche, nur für Seitenbindung eingerichtete Porzellandoppelglocke mit Schutzvollbügel.

Fig. 72 ist die Porzellandoppelglocke von Baron de Capanema mit einer Aushöhlung auf dem Kopfe. Ein kugelförmiges Stück Lot wird mit Hilfe besonderer Gießformen auf den Leitungsdraht aufgegossen und dann in die Höhlung im Isolatorkopfe gelegt. Durch einen darüber befindlichen Querstift wird der Draht ohne Bindedraht in fester Stellung und bei gleichmäßigem Durchhang erhalten. Auch soll bei Regen und Nebel eine bessere Isolation erzielt werden, da Ableitungen über den

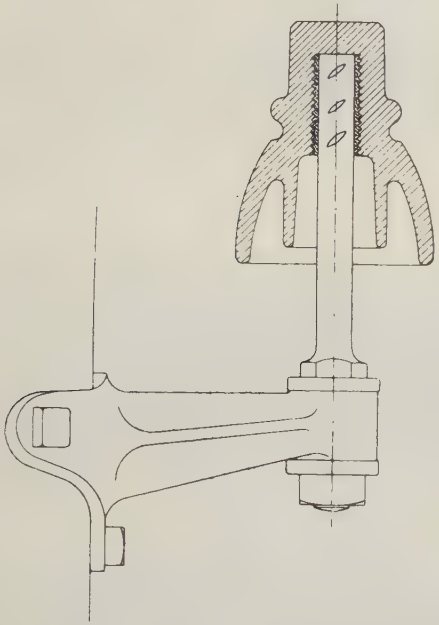


Fig. 73.

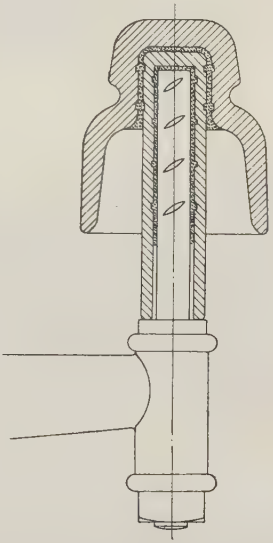


Fig. 74.

Bindedraht nicht stattfinden, über den Isolator aber wegen der kleineren Berührungsstelle zwischen Leitungsdraht und Isolator auf ein möglichst geringes Maß beschränkt bleiben.

Fig. 73 ist die Porzellandoppelglocke von Oppenheimer mit schmiedeeiserner Stütze und eisernem Trägerarm für Holzgestänge.

Fig. 74 zeigt Andrews Porzellanisolator. Er besteht aus zwei miteinander verkitteten Glocken, die also zusammen eine Doppelglocke bilden. Stütze und Trägerarm wie bei Fig. 73.

Fig. 75 und 76 sind Porzellanglocken, die bezüglich der Anwendung gewissermaßen eine Umkehrung der seither betrachteten Modelle dar-

stellen. Mit dem Eisenhut, in den der Porzellankörper eingekittet ist, wird der hohe, flache, eiserne Träger zur Befestigung des Isolators am Stützpunkte verbunden. Von diesen Typen wird Fig. 75 als Trageisolator (intermediate insulator), Fig. 76 als Spannisolator (stretching

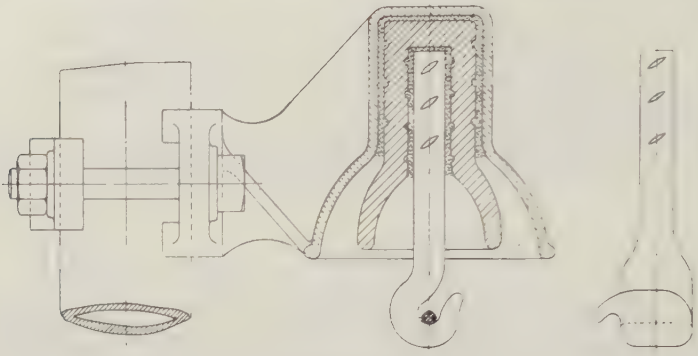


Fig. 75.

insulator) verwendet, d. h. die Leitung wird nur an jedem 5. bis 6. Stützpunkte, dem Spannisolator, festgelegt, während sie auf den übrigen Isolatoren lose ruht. Deshalb ist der auf Fig. 75 in Seitenansicht gezeichnete Drahtträger unten sehr breit gehalten, um die Wirkung der

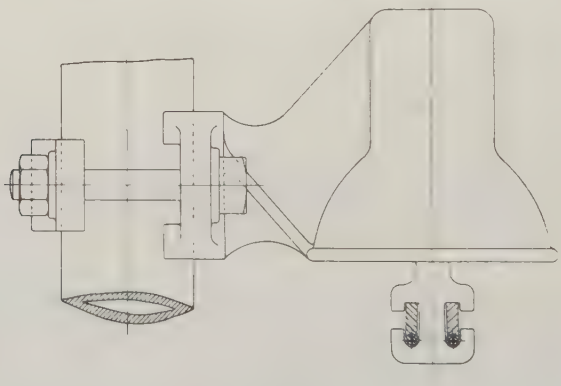


Fig. 76.

Flächenpressung des Drahtes auf ein möglichst geringes Maß zurückzuführen und damit seine Abnutzung möglichst zu verhindern. Beim Spannisolator wird der Leitungsdraht in die eine Seite des Drahtträgers gelegt, in einer Schleife über den Kopf des Isolators geführt, dann in die andere Seite des Trägers gelagert und weitergeführt. Im

Träger wird der Draht durch Keile festgeklemmt. Die Schleife dient als Vorrat für die Regulierung des Durchhanges der Leitung. Die Einrichtung kann aber auch — nach Durchschneidung der Schleife — als Untersuchungsstation benutzt werden. Auch kann der Leitungsdraht unter Verwendung von Bindedraht an jedem Trageisolator besonders festgelegt werden.

Fig. 77 zeigt den Schnitt eines Tragisolators, und zwar einer Porzellandoppelglocke mit Eisenhaube, bei der der Draht mit Hilfe einer exzentrischen Scheibe festgelegt wird, zwischen dieser und einer

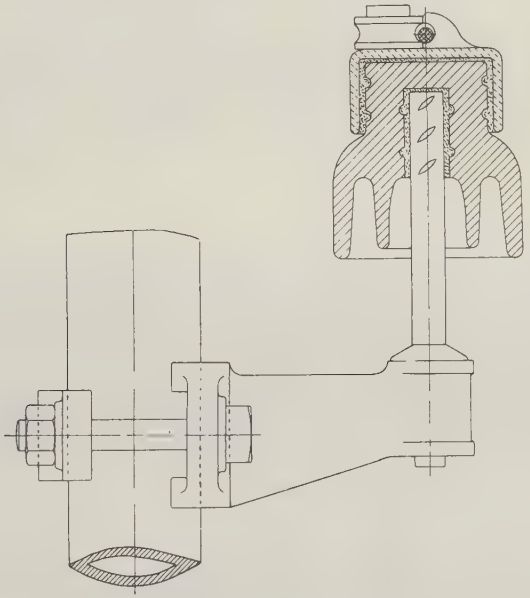


Fig. 77.

auf der Eisenhaube angebrachten Nase aber Bewegungsfreiheit hat. Als Träger dient eine gerade Stütze in einem Trägerarme für eiserne Rohrständer.

Fig. 78 ist die gleiche Porzellandoppelglocke mit Schraubenstütze für Holzstangen als Spannisolator mit zwei exzentrischen Scheiben. Der Leitungsdraht wird an einer Seite eingeklemmt, dann im Bogen — als Vorrat — über den Kopf des Isolators geführt, an der anderen Seite festgeklemmt und weitergeleitet (vergl. Text zu Fig. 75 und 76).

Fig. 79 stellt einen etwas abweichenden Spannisolator mit einfacher Porzellanglocke und Eisenmantel dar. Der Leitungsdraht wird in mehreren Biegungen um den zwei Haken besitzenden Drahtträger

herumgeschlungen und infolge der Reibung festgehalten. Eine weitere Form eines besonders für Winkelpunkte geeigneten Spannisolators zeigt

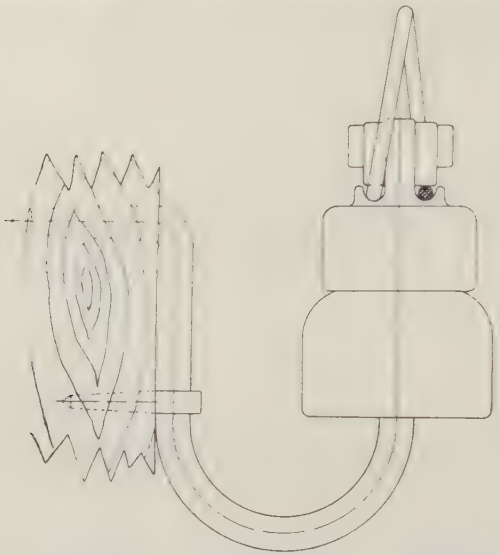


Fig. 78.

Fig. 80. Der Leitungsdraht liegt zwischen den beiden Porzellanschalen.

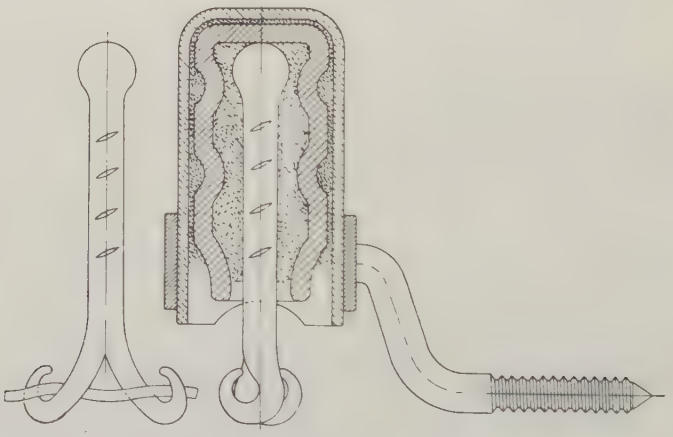


Fig. 79.

Fig. 81 bietet einen Pendelisolator, bestehend aus Porzellandoppelglocke mit Eisenkappe und Ring,

Fig. 82 gleichfalls einen Pendelisolator — einfache Porzellanglocke mit Eisenmantel und seitlichem eisernen Flansch,

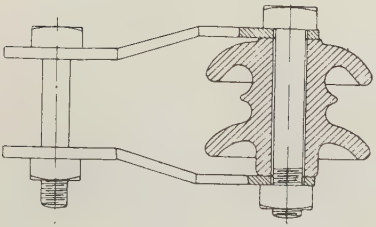


Fig. 80.

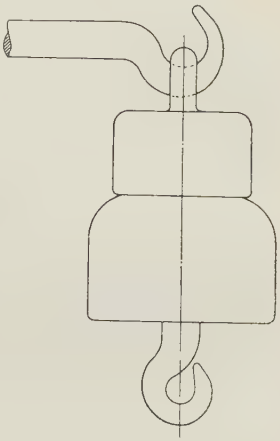


Fig. 81.

Fig. 83 einen Isolator mit einfacher Porzellanglocke und Eisenmantel auf gerader Stütze — sogenannten Kriegsisolator. Alle drei Isolatoren (Fig. 81—83) sind Trageisolatoren.

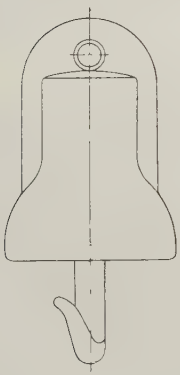


Fig. 82.

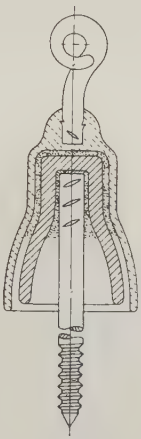


Fig. 83.

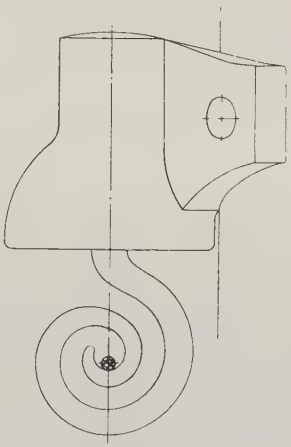


Fig. 84.

Aus vorstehendem ist ersichtlich, daß sich mit der Zeit das Hartporzellan als Isoliermaterial für oberirdische Leitungen die erste und fast die einzige Stelle errungen hat. Daß es aber auch an Ver-

suchen, die anderen bekannten Isoliermaterialien für diese Zwecke zu verwenden, nicht gefehlt hat, soll an einigen Beispielen gezeigt werden:

In der Provinz Hannover wurden Isolatoren aus Hartgummi sowohl als einfache wie als Doppelglocken vielfach verwendet. Überall veränderte sich jedoch die Oberfläche derselben durch Bildung von Schwefelsäure aus dem bei der Vulkanisierung verwendeten Schwefel unter der Wirkung des Lichtes und der Feuchtigkeit so nachhaltig, daß größere Landlinien und auch kleinere in der Nähe der Meeresküste nicht damit ausgerüstet bleiben konnten. Trotzdem dehnte man in England die Verwendung der Hartgummiisolatoren noch weiter aus, indem man damit — zur Erhöhung des Übergangswiderstandes — auch die eiserne Isolatorstütze bekleidete. In Frankreich hatte man — ohne wesentlichen und andauernden Erfolg — versucht, die Isolation durch mehrfach gewundene, eiserne, mit Emaille überzogene Drahtträger (Fig. 84) zu erhöhen. Der Porzellanisolator ist am oberen Ende direkt mit der Stange durch Schrauben verbunden, während die isolierte und emaillierte Stütze in der innersten Windung den Leitungsdraht trägt. Man wollte damit dem Strome beim Übergange vom Draht über den Porzellanisolator zur Stange einen möglichst langen und schmalen Weg bieten. Dieser Zweck wurde aber durch die bald eintretende Beschädigung des isolierenden Überzuges nicht erreicht.

Eine für den damaligen Standpunkt (in den sechziger Jahren) besondere Idee liegt der Konstruktion Fig. 85 zugrunde. Es wurden zwei Porzellandoppelglocken ineinander geschoben. Die untere war mittels einer Schraube nach oben und unten verschiebbar, die obere mit dem Ende einer eisernen Stütze fest verbunden. Der untere Isolator war mit Öl gefüllt, wodurch die leitende Verbindung zwischen dem Drahtlager über die Oberfläche des Porzellans bis zur Stütze sicher unterbrochen war. Durch Senken des unteren Isolators konnte eine Besichtigung und Erneuerung der Ölschicht bequem erfolgen. Dieser Isolator scheint die Urform der späteren, in der Starkstromtechnik vorübergehend zur Anwendung gekommenen Ölisolatoren zu sein (vergl. hierzu S. 98).

Fig. 86 zeigt einen Holzisolator mit Eisenkappe, Fig. 87 einen sehr einfachen Glasisolator mit Holzstütze.

Auch Isolatoren aus Papiermasse oder Pflanzenfasern wurden von einem Amerikaner Hinsdale in Cleveland hergestellt. Damit der Isolator die erforderliche Festigkeit erhielt und gegen Feuchtigkeitseinflüsse geschützt blieb, wurde die Masse mit flüssiger Kieselsäure gemengt. Auch solche Isolatoren bewährten sich nicht.

Eine eigenartige Isolatorenkonstruktion zeigt Fig. 88. Die Ausrüstung der Fernsprechdoppelleitungen mit Selbstinduktionsspulen —

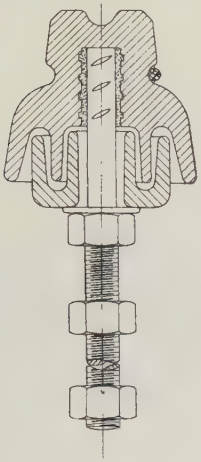


Fig. 85.

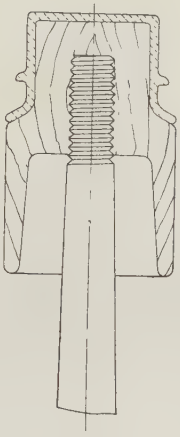


Fig. 86.

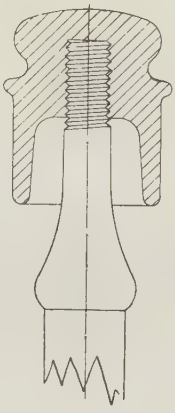


Fig. 87.

Pupinrollen*) — zur Verbesserung der Sprechverständigung bedingt die Anbringung solcher Rollen auf freier Strecke. Zu diesem

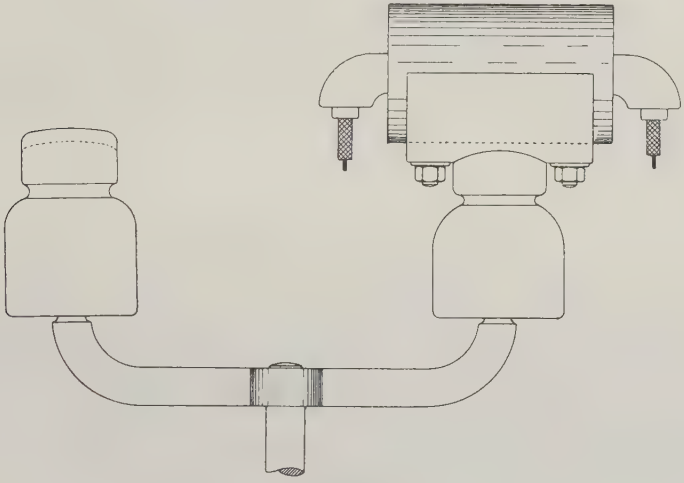


Fig. 88.

Zwecke werden Doppelkonsole eingeschaltet, bei denen der eine Isolator in einem Porzellantroge die Pupinrolle trägt, deren Enden aus Ebonitröhren herausgeführt werden.

*) E. T. Z. 1902 S. 1059.

C. Lieferungsvorschriften.

Als Lieferungsvorschriften, wie solche auch von der Kaiserlich Deutschen Reichstelegraphen-Verwaltung aufgestellt sind, gelten folgende Normen:

Die Porzellandoppelglocken müssen nach Form und Abmessungen den vereinbarten Zeichnungen entsprechen. Von den darin angegebenen Maßen sind folgende Abweichungen gestattet:

eine Abweichung von 5 % mehr oder weniger für die Stärke des Kopfes;

eine Abweichung von 5 % mehr oder weniger für die Höhe der Doppelglocke;

eine Abweichung von der kreisrunden Form von 5 % für den Schraubengang zur Aufnahme der Stütze und von 5 % für die innere Weite der inneren Glocke;

eine Abweichung von 8 % von der kreisrunden Form für den unteren Rand der äußeren Glocke.

Die Porzellanmasse muß einen muscheligen, feinkörnigen, glänzenden Bruch — ohne irgendwelche Hohlräume im Innern — zeigen, völlig weiß sein und weder im Innern noch im Äußern Risse haben.

Der Kopf und die Glocke dürfen nicht getrennt geformt und durch Zusammenbrennen miteinander vereinigt sein.

Die Glasur muß die ganze innere und äußere Oberfläche der äußeren Glocke und des inneren Zylinders — mit Ausnahme des unteren Randes der äußeren Glocke — vollständig und zusammenhängend bedecken; sie muß ganz weiß sein und darf keine Blasen oder schwarze Punkte zeigen.

Vereinzelte k l e i n e schwarze Punkte in der Glasur und die durch die gebräuchlichen Fabrikzeichen gebildeten Eindrücke sind gestattet, wenn die Doppelglocke im übrigen den Bedingungen entspricht und wenn besonders die Glasur — mit Ausnahme des unteren Randes der äußeren Glocke — vollständig zusammenhängt und die Isolierfähigkeit in keiner Weise beeinträchtigt.

Die Oberfläche der Doppelglocke muß außen und innen möglichst vollständig eben sein. Kleine Unebenheiten in der Glasur sind bis zur Höhe von höchstens 1 mm gestattet.

Die Doppelglocke darf keine Risse oder Sprünge haben, die mit Glasur verdeckt sind.

Das Schraubengewinde im Kopf der Doppelglocke muß gut aus-

geprägt sein und darf keine Ausbröckelungen zeigen. Einzelne Gänge des Gewindes dürfen gegen die übrigen nicht vorstehen.

Die Prüfung und Abnahme der Doppelglocken erfolgt am Bestimmungsort unmittelbar nach der Ankunft. Doppelglocken, die nicht vertragsmäßig sind, werden nicht angenommen und nicht vergütet, sondern dem Lieferer, der sie durch vertragsmäßige Stücke zu ersetzen hat, am Bestimmungsorte zur Verfügung gestellt. Die einzelnen Lieferungen werden erst dann als erledigt angesehen, wenn der Lieferer für etwa nicht vorschriftsmäßig befundene Stücke Ersatz durch Überweisung vertragsmäßig beschaffener Doppelglocken geleistet hat.

Bei größeren Lieferungen behalten sich Private und Behörden das Recht vor, die Herstellung der Doppelglocken in der Fabrik beaufsichtigen zu lassen.

Vielfach werden alle über die Erfüllung eines Vertrages entstehenden Streitigkeiten unter Begebung des Rechtsweges durch einen unparteiischen Schiedsrichter endgültig entschieden. Auf das schiedsrichterliche Verfahren finden dann die Vorschriften der §§ 1025 ff. der Zivilprozeßordnung Anwendung.

Wird die Lieferung zu den verabredeten Zeitpunkten gar nicht oder nicht vollständig ausgeführt, oder werden die gelieferten Doppelglocken nicht vorschriftsmäßig befunden oder die unvorschriftsmäßigen nicht rechtzeitig durch brauchbare Stücke ersetzt, so wird für den Lieferer eine Konventionalstrafe ausbedungen, ohne daß er dadurch von der Erfüllung des Vertrages entbunden wird. Gewöhnlich gilt diese Strafe nach Ablauf der vereinbarten Lieferfrist als verfallen, ohne daß es der gerichtlichen oder außergerichtlichen Mahnung bedarf. Auch wird der Unternehmer durch die Annahme der verspätet gelieferten Doppelglocken von der Zahlung der Strafe nicht befreit.

Hat der Lieferer nach Ablauf der ausbedungenen Fristen seinen Verpflichtungen nicht völlig genügt, so ist der Bezieher berechtigt, die fehlenden Stücke auf Kosten des Unternehmers, wo und zu welchem Preise er sie überhaupt am schnellsten erhalten kann, zu beschaffen und versenden zu lassen. Werden auf diese Weise beschaffte Doppelglocken zu billigeren als den ausbedungenen Preisen anderweit gekauft, so hat der Lieferer auf Vergütung des Preisunterschiedes keinen Anspruch.

Wenn der Lieferer nachweist, daß die Verzögerung der Lieferung durch höhere Gewalt oder durch Arbeitseinstellung der Arbeitnehmer verursacht ist, so wird weder eine Konventionalstrafe erhoben, noch treten die Bedingungen bezüglich anderweiter Beschaffung der Liefe-

rung auf Kosten des Lieferers in Kraft. Dagegen hat der Bezieher, sobald eine der vertragsmäßig festgesetzten Lieferfristen abgelaufen ist, ohne daß der Lieferer seine Verpflichtungen völlig erfüllt hat, das Recht, den Vertrag gänzlich aufzuheben, ohne daß dem Lieferer ein Schadenersatzanspruch irgendwelcher Art zusteht.

Bei größeren Lieferungen wird häufig die Stellung von Bürgen oder Kautionen nach den allgemein geltenden Bestimmungen gefordert.

Vorstehende Lieferungsvorschriften bieten ganz oder teilweise einen Anhalt für den Abschluß von Verträgen bei größeren Lieferungen. Für den Lieferer selbst gelten die allgemein gültigen kaufmännischen Bräuche und die Bestimmungen des Bürgerlichen Gesetzbuches.

D. Prüfung und Prüfungsbedingungen.

Bei der Prüfung der Porzellandoppelglocken*) sind zunächst ihre Abmessungen unter Berücksichtigung der nach Seite 72 zugelassenen Abweichungen festzustellen. Das Material ist gut, wenn die Porzellandoppelglocken beim Anschlagen hell klingen, andernfalls haben sie einen Sprung. Die Glasur muß frei von Rissen, Sprüngen und Blasen sein und ein Weiß zeigen, das nur sehr wenig ins Gelbe oder Blaue spielt. Zerschlägt man eine Doppelglocke, so muß die Bruchfläche glänzend weiß sein.

Ob dann noch genauere Prüfungen vorzunehmen sind, richtet sich nach dem Gesamtbefund der einfachen Prüfung. Exemplare mit feinen, dem Auge nicht sichtbaren Sprüngen, die aber durch den ganzen Querschnitt reichen, lassen sich leicht ermitteln, indem man die Doppelglocken eine Zeitlang in ein Metallgefäß mit dem Kopfe nach unten stellt und das Gefäß wie die inneren Höhlungen der Doppelglocke mit angesäuertem Wasser füllt (Fig. 89). Das Wasser darf außen und innen nur einige Zentimeter vom Rande der Doppelglocke abstehen. Man führt von dem Gefäß — also der äußeren Flüssigkeit — eine Zuleitung zu einem Pol einer kleinen Batterie B, deren anderen Pol man mit einem gewöhnlichen Galvanoskop G verbindet. Den Zuleitungsdraht zum Galvanoskop taucht man der Reihe nach in die innere Höhlung der zu prüfenden Doppelglocken. Erfolgt ein Ausschlag, so ist der betreffende Isolator fehlerhaft.

*) Grawinkel & Strecker, Hülfsbuch für die Elektrotechnik, 3. Aufl. S. 499. Merling, die Telegraphentechnik der Praxis, S. 358.

Zu bemerken ist, daß bei Anwendung dieser Methode und unter Benutzung eines empfindlichen Spiegelgalvanometers keineswegs der Isolationswert, d. h. der elektrische Widerstand, fehlerfreier Doppelglocken bestimmt werden kann, vielmehr mißt man nur den Übergangswiderstand über die nicht benetzten Flächen; die Messungen ergeben sehr schwankende, unzuverlässige Werte.

Bei dem Telegrapheningenieurbureau des Reichspostamts*) wird der Isolationswiderstand von Porzellandoppelglocken auf folgende Weise bestimmt:

Ein hölzerner Kasten mit dachartig abgeschrägter Decke von 134 cm Länge, 96/86 cm Höhe und 54 cm Tiefe ist innen mit Zinkblech ausgeschlagen und enthält oben einen mit siebartig durchlöchertem Boden versehenen Wasserbehälter, der etwa 85 l faßt und mit einem Wasserzuflußrohr verbunden ist. In den unteren Teil des Kastens führt ein Wasserabflußrohr. Die Vorderwand und die Seitenwände des Kastens sind mit Glasfenstern ausgestattet. Ferner sind in den Seitenwänden verschiedene mit Schiebern bedeckbare Öffnungen vorhanden. In diesen sogenannten „Regenschrank" können eine Anzahl von Doppelglocken an geraden Stützen auf Querträgern oder auf hakenförmigen Schraubenstützen an Stangenabschnitten eingesetzt werden, so daß die Verhältnisse für Ortsfernsprechnetze mit Dachgestängen oder für Landlinien nachgebildet werden. Wird Wasser in den Wasserbehälter gelassen, so entsteht nach Wunsch ein feiner oder starker Regen. Auch die Wärme im Schranke kann beliebig geändert und nach Beendigung des Regens die Verdunstung durch Geschlossenhalten des Schrankes oder Öffnen desselben verlangsamt oder beschleunigt werden. Wenn nun die Stützen mit der Erde verbunden werden, auf dem Kopf oder am Halse der Glocken ein Stück Leitungsdraht vorschriftsmäßig befestigt und mittels isolierten Drahtes mit einem Meßsystem nebst Spiegelgalvanometer verbunden wird, so zeigen die Meßergebnisse den wirklichen Verhältnissen entsprechende richtige Übergangswiderstände.

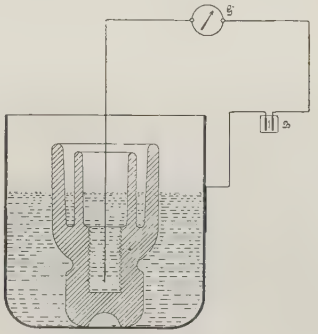


Fig. 89.

*) Vergl. Mitteilungen aus dem Telegraphen-Ingenieurbureau des Reichs-Postamts, Band II.

IV. Hochspannungsisolatoren.

Von Rob. M. Friese.

Die Isolatoren der Schwachstromtechnik (vergl. S. 40), welche den Zweck haben, Telegraphen-, Telephon- und Signalleitungen von Erde zu isolieren, sind verhältnismäßig einfache Gebilde, deren Herstellung in erster Linie von mechanischen Gesichtspunkten aus erfolgte. Ausreichende Festigkeit gegen Drahtzug, einschließlich Winddruck, ergaben von selbst Abmessungsverhältnisse, die die elektrischen Anforderungen mitbefriedigten. Daher kam es auch, daß an den Formen dieser Isolatoren nur Nebensächliches geändert wurde, soweit es die besonderen Verwendungszwecke eben erforderten, während die Grundform typisch bis zum heutigen Tage geblieben ist. Die Schwachstromglocke muß in erster Linie Oberflächenisolation besitzen, was dadurch erreicht wird, daß den Stromfäden auf dem Wege von Bund zur Stütze reichliche, isolierende Weglängen entgegengesetzt werden. Die Glocke erhält zu diesem Zwecke meistens zwei Mäntel, die zylindrisch ineinander geschoben und auf diese Weise gegen Feuchtigkeit (Regen) geschützt sind. Querisolation oder — wie in der Folge treffender gesagt werden soll — Durchschlagsfestigkeit spielte bei diesen Glocken keine Rolle, weil schon bei den aus mechanischen Festigkeitsgründen sich ergebenden Wandstärken eine Durchschlagsfestigkeit resultierte, die weit außerhalb der zur Verwendung kommenden Spannungen lag. Daher kam es auch, daß geraume Zeit in der Starkstromtechnik Telegraphenglocken verwendet wurden, wo man aus Gründen, die noch deutlicher werden sollen, besser getan hätte, andere Formen dafür zu setzen.

Wenn man z. B. die große zweimantelige Reichstelegraphenglocke (Fig. 50 S. 61) zwischen Bundrille und Stütze einer wachsenden Wechselspannung aussetzt, so findet man, daß im trockenen Zustande bei etwa 6000 Volt die Glocke zu leuchten beginnt. Dieses Leuchten steigert

sich unter Zischen und Büschelentladungen, bis bei etwa 65 000 Volt klatschende Funken nach der Stütze überspringen (Randentladungen). Hiernach könnte man meinen, daß die Glocke für Hochspannung recht leistungsfähig sei. Dem ist aber nicht so; denn wiederholt man den Versuch, während die Glocke einem kräftigen Regengusse ausgesetzt ist, so beginnt das Leuchten bei etwa 3500 Volt, während die Randentladungen bereits bei etwa 9000 Volt einsetzen. Da die Betriebsspannung, wie später noch erörtert werden wird, stets unterhalb der Randentladespannung angesetzt werden muß, dürfte hiernach die große Reichstelegraphenglocke höchstens für eine 5000 Voltanlage Verwendung finden, vorausgesetzt, daß man die sonst noch aus ihrer Form entspringenden Mängel, die gegen ihre Verwendung als Hochspannungsglocke sprechen, mit in Kauf nehmen will. Es sind also in erster Linie

die Randentladungen

welche die Leistungsfähigkeit einer Hochspannungsglocke bestimmen. Die Ursache der Randentladungen ist darin zu erblicken, daß im nassen Zustande zunächst der äußere Mantel des Isolators leitend wird und die am unteren Rande abfließenden Wasserfäden, die das gleiche Potential wie die Leitung besitzen, nun nicht mehr den Gesetzen der Schwerkraft folgend senkrecht abfließen, sondern, von dem entgegengesetzten Potential der Stütze angezogen, unter scharfem Winkel dieser zustreben und so eine leitende Verbindung zwischen Draht und Stütze herstellen.

Als die ersten Hochspannungsanlagen mit mehreren Tausend Volt Betriebsspannung entstanden, ging man daran, die vielbewährte Telegraphenglocke in ihren Abmessungen zu vergrößern, denn man hielt sie nur für zu schwach, d. h. man fürchtete, sie könne durchschlagen werden. Man machte daher die Wandstärken größer und erhielt dadurch einen in allen linearen Abmessungen reichlicheren Isolator, der gegen Durchschlag fester war*) und infolge seiner größeren Dimensionen auch einige Sicherheit gegen Randentladungen bot, ohne daß man über das Warum sich gerade klar gewesen wäre. Auf diese Weise entstanden eine Reihe Starkstromglocken, wie sie in Fig. 90 bis 97 dargestellt sind. Diese befriedigten zunächst, obgleich sie — wie das

*) Was aber gar nicht so nötig gewesen wäre, da auch schon die alte Telegraphenglocke eine praktische Durchschlagsfestigkeit von etwa 45000 Volt besaß.

Fig. 90. M 1 : 4

Fig. 91. M. 1 : 4.

Fig. 92 M 1 : 4.

Fig. 93. M. 1 : 4.

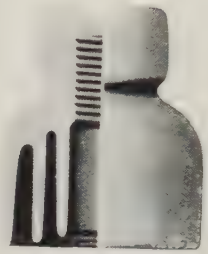


Fig. 94. M. 1 : 4.

Fig 95. M. 1 : 3.

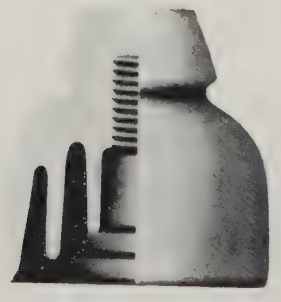


Fig. 96. M. 1 : 4.

Fig. 97. M. 1 : 4.

aus dem Folgenden noch überzeugend hervorgehen wird — durchaus nicht Anspruch auf eine rationelle Hochspannungsglocke machen können. Nachdem aber in rascher Folge die Betriebsspannungen immer

höher und höher wurden, zeigte es sich bald, daß mit dem einfachen Vergrößerungsverfahren brauchbare Isolatoren nicht mehr zu erzielen waren; sie wurden so schwer, daß sie weder leicht herstellbar, noch verkäuflich waren. Hier war es ein Verdienst der Porzellanfabrik Hermsdorf-Klosterlausnitz, rechtzeitig eingegriffen zu haben, um in planvoller Arbeit die Bedingungen festzulegen, welche für die Konstruktion einer rationellen Hochspannungsglocke maßgebend sind. So entstand 1897 die bekannte, durch Patente im In- und Auslande

Fig. 98. M. 1 : 4.

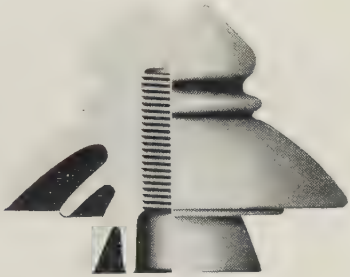


Fig. 99. M. 1 : 4.

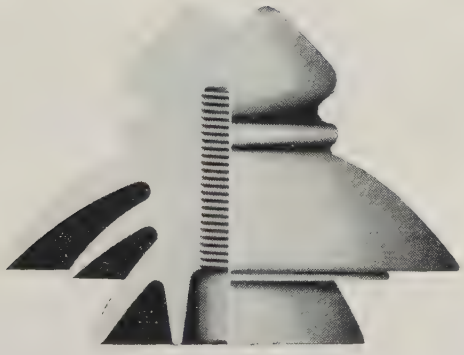


Fig. 100. M. 1 : 4.

geschützte Deltaglocke (Fig. 98 bis 100). Sie verdankt ihre eigenartige Form in erster Linie der Bekämpfung der Randentladung. Ein schirmartiges Ausbreiten der Mäntel und hierdurch bedingtes weiteres Abrücken der Ränder von der Stütze verminderte zwar die geschilderte Erscheinung, jedoch ließ sich auf diesem Wege, ohne unpraktisch große Abmessungen zu erhalten, nur teilweise Abhilfe schaffen. Dagegen ergab sich durch Hinzufügen eines oder mehrerer in dem Entladeweg der Wassertropfen vorgeschobener Mäntel eine weitere Verbesserung. Werden diese Mäntel in richtiger Abmessung und gegen-

seitiger Stellung zueinander angeordnet, so verwandelt sich die vorher anziehende Wirkung zwischen Stütze und geladene Wassertropfen in eine abstoßende, wodurch die Randentladungen erst bei wesentlich höheren Spannungen entstehen. Man kann diese Wirkung vielleicht damit erklären, daß die Mäntel, welche sich unter dem Einflusse von Sprühregen auf ihren äußeren Flächen mit einem feinen Wassernebel überziehen, eine elektrostatische Schirmwirkung ausüben, weil ihre Potentialflächen von jeweils gleichem Vorzeichen wie die des Außenmantels sind. Jedenfalls war es durch diese weitere Verbesserung erst möglich, die Deltaglocke bei mäßigem Gewicht und nicht zu großen Abmessungen zu einem außerordentlich wirkungsvollen, rationellen Isolator auszubilden.

Wie schon eingangs gesagt, tritt auch im trockenen Zustande ein Überschlagen von der Leitung zur Stütze ein, wenn die Spannung hoch genug ist; doch gehören hierzu meist recht erhebliche Spannungen. Der so ermittelte Wert stellt den denkbar günstigsten Fall dar, der allerdings praktisch von keiner besonderen Bedeutung ist, da die Verwendung eines Isolators nach dem ungünstigsten Falle, der vorkommen kann, und das ist ein starker Regenguß, beurteilt werden muß. Aber die Überschlagsspannung im trockenen Zustande E_t gibt einen Anhalt für die Güte des Isolators, denn je näher die bei starker Beregnung eintretende Randentladespannung E_R dem Werte E_t kommt, desto rationeller ist der Isolator konstruiert. Das Verhältnis

$$\frac{E_R}{E_t} = \alpha$$

ist somit ein Maß für die Beurteilung des Verhaltens des Isolators gegen Randentladungen; α sei daher kurz „Randziffer" genannt; je größer α, desto besser.*) Die Größe α ist naturgemäß abhängig von der

*) Es ist zu beachten, daß E_R wie auch E_t von der Amplitude der Spannung, also von der Form der Spannungskurve abhängig sind. Für α als Verhältniszahl kommt dies nicht in Betracht, wohl aber für die spätere Größe β. Ferner hängt E_R von der Dauer, Richtung und wesentlich auch von der Stärke des niedergehenden Regens ab. Wird die Beregnung sehr stark gewählt, stärker als sie in der Natur vorkommt, so sinkt zwar E_R, wird aber von einer bestimmten Regenmenge ab praktisch konstant. Auch die subjektive Beurteilung der Randentladungserscheinung kann einen Einfluß auf das Endergebnis ausüben. Insbesondere darf nicht das bei allen Hochspannungserscheinungen auftretende Glimmlicht mit der Randentladung verwechselt werden. Unter dieser ist vielmehr das unmittelbare Überschlagen klatschender Funken bzw. Lichtbogen nach

Gebrauchspannung, denn je größer diese ist, desto weiter rücken die Ränder von der Stütze weg und desto geringer werden die Unterschiede der Schlagweiten für E_t bezw. E_R. Bei Glocken für hohe Spannungen wird daher α rascher dem Werte 1 zustreben, als bei solchen niederer Spannung. Aber nach dem Werte α allein darf die Güte nicht beurteilt werden; es kommt auch noch darauf an, mit welcher Gewichtsökonomie ein günstiges E_R erkauft wird, denn davon hängt nicht nur die Belastung des Gestänges, die Güte des Fabrikates (wegen des schwierigeren Durcharbeitens und Garbrennens bei gehäuften Massen), sondern auch der Preis des Isolators ab. Man kann somit

$$\frac{E_R}{G} = \beta$$

d. h. die pro Gewichtseinheit (Gewicht = G) erzielte Randentladespannung (unter Regen) als ein weiteres Maß der rationellen Konstruktion betrachten und mit „Gewichtsziffer" bezeichnen; je größer β, desto besser. Auch die Größe β hängt von der Gebrauchspannung ab, denn je größer diese wird, desto mehr passives Material, das nicht unmittelbar für E_R wirksam ist, muß in den Isolator aufgenommen werden. Daher wird β bei hohen Spannungen kleinere Werte annehmen, als bei niederen. Nachdem sowohl α als auch β im gleichen Sinne, d. h. je größer sie werden, die Güte bestimmen, ist es naheliegend, das Produkt

$$\alpha \cdot \beta = g$$

zu bilden und g als die „Güteziffer" des Isolators zu bezeichnen. Da α, wie ausgeführt, mit der Spannung wächst, β aber sinkt, so wird der Einfluß derselben auf g zwar nicht mehr so merklich, trotzdem bleibt er aber bestehen, und es ist daher, um richtige Vergleiche anstellen zu können, unbedingt erforderlich, neben der Güteziffer auch noch die Randentladespannung E_R anzugeben. Nur Güteziffern für die gleiche Randentladespannung sind unmittelbar vergleichbar.

In der nachstehenden Tabelle sind die soeben entwickelten Größen für einige Isolatoren älterer Formgebung sowie für Deltaglocken angegeben.

---

der Stütze zu verstehen. Alle Zahlenangaben dieses Abschnittes sind unter einheitlichen Versuchsbedingungen erhalten und unter sich vergleichbar. Die Spannungskurve war sinusförmig, der Regen ging senkrecht nieder und die Regenmenge entsprach einer Regenhöhe von etwa 40 mm i. d. Min.

Vergleichszahlen verschiedener Hochspannungsglocken.

Form	Fabrik-Nummer	Fig.	E_t in Volt	E_R in Volt	G in gr	$\alpha = \frac{E_R}{E_t}$	$\beta = \frac{E_R}{G}$	$g = \alpha . \beta$
Delta-Type	901		43 000	13 000	275	0,30	47	14
	912		48 500	16 000	390	0,33	41	13,5
	903		53 000	23 000	530	0,43	43	19
	904	98	60 000	29 000	700	0,48	41	20
	905	bis	65 000	32 000	1000	0,49	32	16
	906		75 000	37 000	1460	0,49	25	12
	917	100	91 000	44 000	1850	0,48	24	11,5
	918		93 000	49 000	2125	0,53	23	12
	909		106 000	56 000	3750	0,53	15	8
	910		120 000	62 000	4570	0,52	14	7
Ältere Form	1	50	65 000	9 000	940	0,14	10	1,3
	153b	94	66 000	16 000	1480	0,24	11	2,6
	58c	93	65 000	16 500	2240	0,25	7	1,8
	276	96	77 000	23 000	2350	0,30	10	2,9
	564	97	70 000	31 000	3850	0,44	8	3,5

Ein Vergleich der Güteziffern g unter Berücksichtigung der Werte E_R lassen erkennen, wie wesentlich die Deltamodelle den früheren Modellen überlegen sind. So ist z. B. die Güteziffer der Deltaglocke Nr. 912 im Vergleich zur Glocke Nr. 58c, die etwa das gleiche E_R besitzt, 7 mal größer, oder Delta Nr. 912 leistet dasselbe wie Nr. 58c mit nur etwa einem Sechstel des Gewichtes. Nicht viel günstiger stellen sich für die älteren Formen die Zahlen bei höheren Spannungen. So steht die Güteziffer der Delta Nr. 905 zu derjenigen der Glocke Nr. 564 wie 4,5 zu 1, und bei etwa gleichem E_R ist Nr. 564 nahezu viermal schwerer.

Aus vorstehenden Darlegungen geht hervor, daß die Güteziffer g ein wertvolles Hilfsmittel zur Bewertung von Glocken ist. Es wäre aber der Fall denkbar, daß zwei Glocken bei gleichem E_R dasselbe g ergeben. Alsdann müßte zu noch schärferem Vergleiche noch der Raumbedarf (Grundfläche mal Höhe) der Glocken mit herangezogen werden. Diese Größe ist zwar in g schon berücksichtigt, aber doch nur mittelbar durch die Gewichtsziffer β. Unter sonst gleichen Bedingungen würde man sich zu der Glocke mit dem kleineren Raumbedarf insbesondere der geringeren Höhe entscheiden, denn diese ist für das Gestänge mit Rücksicht auf die Stützenlänge und eventuelles Krummziehen die unbequemere Größe. Auch diese Verhältnisse seien durch ein Beispiel beleuchtet.

Eine moderne amerikanische Hochspannungsglocke, die der Deltaglocke Nr. 918 gegenübergestellt worden war, ergab:

$E_t = 92\,000$ V, $E_R = 49\,000$ V und $G = 2910$ g
somit $\alpha = 0{,}53$, $\beta = 16{,}8$ und $g = 9$

Die Deltaglocke Nr. 918 mit $g = 12$ erreicht somit eine reichlich 30 % höhere Güterziffer.

Die Raumverhältnisse ergaben:

	Grundfläche in qcm	Höhe in cm
Amerikanische Glocke	325	23
Deltaglocke Nr. 918	240	19,5

Die Entscheidung mußte hiernach zugunsten der Deltaglocke fallen.

Nachdem gezeigt ist, wie Isolatoren unter sich zu vergleichen sind, ist die nächste Frage die:

Wie wählt man die Betriebsspannung,

die für eine Glocke zulässig ist, wenn deren Konstanten bekannt sind? Die Beantwortung ergibt sich durch folgende Überlegung. Der ungünstigste Fall, unter dem ein Isolator arbeitet, ist, wie bereits ausgeführt, bei einem heftigen Regenguß vorhanden, daher auch E_R immer auf diesen Fall zu beziehen ist. Ist die Leitungsanlage in Ordnung und wird die Betriebsspannung, d. h. die Spannung von Draht zu Draht, mit e bezeichnet, so ist die zwischen Stütze (Erde) und Draht vorhandene Spannung

bei gewöhnlichem Wechselstrom $\frac{e}{2}$

bei Drehstrom $\frac{e}{\sqrt{3}}$

Gegenüber dieser Spannung ist nun die Entladespannung E_R so viel größer zu wählen, als mit Rücksicht auf den Sicherheitsgrad gewünscht wird. Um diesen annehmen zu können, muß man auch den Fall in Betracht ziehen, der eintritt, wenn ein Leitungsdraht aus irgendeinem Grunde, z. B. dadurch, daß er durch Zertrümmerung einer Glocke auf das Gestänge herabfällt, Erdschluß bekommt. Dann steigt die zwischen Stütze und Draht der nicht geerdeten Leitungen entstehende Spannung bis auf den Wert der Betriebsspannung e, und auch dann soll noch nicht durch eintretende Randentladungen aus dem

Erdschluß ein Kurzschluß werden. Man wird also die Entladespannung E_R höher ansetzen als die Betriebsspannung e. Es fragt sich nun wieviel. Hierbei wird man wiederum die Betriebsspannung e in Betracht ziehen müssen. Ist diese nicht sehr erheblich, so wird man damit rechnen müssen, daß Fehler in den Leitungen sich nicht so schnell bemerkbar machen werden wie bei Anlagen mit sehr hoher Spannung. Die Potentialverschiebung infolge weniger guter Isolation wird daher in solchen Anlagen mehr dem Werte e zuneigen. Bedenkt man außerdem, daß die kleinen Glocken bezüglich des Wertes α nicht so günstig daran sind wie die großen und daher durch Herausbrechen von Stücken aus den Rändern rascher entwertet werden wie diese, so wird man unter Berücksichtigung aller dieser Umstände bei geringerer Betriebsspannung gut tun, mit etwas größerer Sicherheit zu rechnen. Noch ein anderer Umstand spricht dafür, bei hoher Spannung $\frac{E_R}{e}$ kleiner anzunehmen als bei niederer, und das ist folgender. Je höher die Betriebsspannungen werden, desto schwieriger ist die Isolation der Maschinen und Apparate. Trotzdem man die besten und, soweit es mit Rücksicht auf rationelle Raumausnutzung zulässig ist, auch die reichlichsten Isolationsstärken wählt, sinkt doch mit zunehmender Spannung die relative Isolation. Das gibt sich schon in allen Prüfvorschriften dadurch zu erkennen, daß, je höher die Betriebsspannung, mit desto geringerer Überspannung geprüft werden soll. Da nun die Isolatoren einen wichtigen Teil einer Anlage bilden, so tut man zwar gut daran, sie ebenfalls der Spannung entsprechend zu wählen; aber man sorge auch dafür, daß ihre relative Isolation $\frac{E_R}{e}$ in einem zweckmäßigen Verhältnis stehe zu derjenigen der Maschinen und Apparate. Hat man $\frac{E}{e}$ zu groß gewählt, was natürlich auch eine entsprechende Verteuerung der Leitungsanlage zur Folge hat, so verlieren die Isolatoren ihren natürlichen Schutzwert für die Anlage; denn dann werden sich Überspannungen, wie sie bei Gewitterentladungen auftreten können, anstatt durch Entladungen über die Oberfläche der Glocken, durch die Wickelungen der Maschinen einen Ausgleich zur Erde suchen, weil diese dann doch die relativ schwächsten Stellen der Anlage sind. Gerade in dem Umstand, daß ein Gewitter meist von Regengüssen begleitet ist und alsdann gewissermaßen selbsttätig der Entladewert von E_l auf E_R zurückgeht, bilden die zahlreichen Isolatoren der Anlage in ihrer Gesamtheit eine Art Spannungsschutz, der nicht ohne weiteres unterschätzt werden darf.

Auf Grund dieser Überlegungen wird man, wenn nicht abnormale Fälle*) vorliegen,

$$E_R = 1{,}6 \text{ bis } 1{,}2 \cdot e \text{ oder}$$

$$e = 0{,}6 \text{ bis } 0{,}8\, E_R$$

wählen können. Unter Beibehaltung dieser Zahlen ist dann die Sicherheit gegen Randentladungen bei normalem Zustande der Linie je nach der Spannung und Stromart selbst bei strömendem Regen noch das 2—3fache und bei trockenem Wetter je nach der Isolatortype entsprechend größer.

Nachdem für einen Isolator die Betriebsspannung festgelegt ist, fragt es sich:

Mit welcher Spannung ist gegen Durchschlag zu prüfen?

Bei der Beurteilung dieser Frage ist nicht zu vergessen, daß in Leitungsanlagen, wenn zunächst von äußeren (atmosphärischen) Einflüssen abgesehen wird, durch freie Schwingungen Spannungserhöhungen auftreten können, die bis zum doppelten Wert der Betriebsspannung steigen können. Unter Umständen z. B. bei eintretender Resonanz können auch noch wesentlich höhere Spannungen vorkommen. Allerdings sind solche Vorkommnisse als ein der Anlage widerfahrener Unfall anzusehen, denn gewöhnlich wird dabei an irgendeiner (schwachen) Stelle die Isolation durchschlagen und eine vorübergehende Betriebsstörung kann die Folge sein. Es ist aber in einem solchen Falle immer noch angenehmer, der Unfall ereignet sich in einem Betriebsraume, wo sofort zur Behebung der Störung alles vorhanden ist, als wenn dadurch auf freier Strecke einer weit ausgedehnten Leitungsanlage einige Isolatoren durchschlagen werden, deren Aufsuchen und Auswechselung immer mit größeren Zeitverlusten verbunden und unter Umständen im Winter in verschneiten oder vereisten Gegenden gar nicht ohne weiteres möglich ist. Aus dieser Erwägung heraus wird man die Prüfung für Isolatoren wohl etwas schärfer gestalten dürfen, als für Maschinen und Apparate üblich ist. Indessen ist auch hier vor einem Zuviel zu warnen; denn wie für alle Isolierstoffe, so gilt auch für Hartporzellan, daß durch eine übertriebene spezifische Beanspruchung — denn eine solche tritt bei zu hoch geschraubter Prüfspannung ein — Veränderungen im Dielektrikum vor sich gehen, die

*) solche sind z. B. die Salzseestürme in Utah U. S. A.

noch nicht genügend geklärt sind, die aber für die elektrische Festigkeit im späteren Betriebe von ebensolchem Nachteile sind wie z. B. eine übertriebene mechanische Prüfung von Kesseln oder Brücken für deren ferneren Bestand. Die Porzellanfabrik Hermsdorf-Klosterlausnitz hat daher unter sorgfältiger Abwägung aller dieser Umstände für die Prüfung ihrer Fabrikate eine Spannungsabstufung gewählt, die vom Doppelten bei großen, bis zum Dreifachen bei kleinen Glocken anwächst.

Eine solche Prüfung muß als scharf bezeichnet werden, wenn man beachtet, daß die Betriebsspannung von Draht zu Draht, die Prüfspannung von Draht zu Stütze gilt. Über das Nähere der Prüfeinrichtung und der Ausführung der Prüfung vergl. S. 32. Soll die Prüfung einen wirklichen Wert haben, so müssen die dazu benutzten Maschinen und Transformatoren elektrisch stabil sein und mindestens einige Kilowatt Leitung besitzen, da sonst geringe Fehlerstellen nicht glatt durchschlagen und somit auch nicht richtig erkannt werden können. Es ist eine ferner beobachtete Tatsache, daß innerhalb gewisser Grenzen fehlerhafte Isolatoren einer mehrere Minuten dauernden Probe mit mäßiger Spannung sicherer zum Opfer fallen als einer nur Sekunden währenden mit höherer. Der Grund liegt wohl darin, daß etwa vorhandene, dem Auge aber unsichtbare Risse bei längerer Dauer der Prüfspannung unter der Wirkung der örtlich entstehenden Wärme, und unterstützt durch die Sprödigkeit des Materials, weiter springen und zu einem glatten Durchschlag führen. Aus diesem Grunde soll die Prüfung nicht zu kurz dauern. In der Porzellanfabrik Hermsdorf-Klosterlausnitz wird sehr zweckmäßig in der Weise verfahren, daß über die Zeitdauer keine bestimmten Festsetzungen getroffen werden; es wird vielmehr so lange geprüft, bis nach dem Ausscheiden des letzten durchschlagenen Stückes noch eine Viertelstunde ohne weitere Defekte verstrichen ist. Eine derartige Prüfung muß ebenfalls als scharf bezeichnet werden und läßt sich nur durchführen, wenn die Häufigkeit der Durchschläge während der Prüfung erfahrungsgemäß gering ist, also nur bei gut geleiteter Fabrikation. Wie schon Seite 44 Abschnitt 13 gesagt wurde, hängt die Durchschlagsfestigkeit wesentlich von den Eigenschaften und der guten Durcharbeitung der Masse und dem richtigen Garbrande ab. Da die Durchschlagskurve des Hartporzellans bekannt ist, kann hiernach die Wandstärke für eine gegebene Betriebsspannung berechnet werden. In Wirklichkeit liegt aber die Sache so, daß schon mit Rücksicht auf die mechanische Festigkeit die zu wählenden Wandstärken so reichlich werden, daß, wenn

nicht eben unvermeidliche Fabrikationsfehler vorkämen, die Durchschlagsspannungen 100 000 Volt und darüber betragen würden. Da nun die mechanische Festigkeit mit der Betriebsspannung nichts zu tun hat, so sind Glocken für kleinere Spannungen gegen Durchschlag verhältnismäßig überreichlich stark, und aus diesem Grunde ist für sie auch eine mehrfach höhere Prüfspannung ganz am Platze, wie bereits auf S. 86 gesagt wurde. Da außerdem kleinere Glocken, weil eben aus Festigkeitsgründen ihre Köpfe relativ stark ausfallen, keine so günstige Massenverteilung erhalten können wie Glocken für hohe Spannung, so sind sie auch im Glattfeuer bezüglich des gleichmäßigen Garwerdens nicht so günstig daran wie die großen Glocken. Auch aus diesem Grunde ist es angezeigt, ihre Prüfspannung etwas reichlicher zu wählen.

Dieselben Faktoren, die bei Porzellan eine hohe Durchschlagsfestigkeit bewirken, beeinflussen auch

die mechanische Festigkeit.

in günstigem Sinne (vergl. Abschn. 6 S. 41). Die Belastung eines Isolators besteht teils in senkrechtem Druck auf die Scheitelrille, teils in seitlichem Zug auf die Halsrille. Sie hängt ab von der Spannweite und dem Drahtdurchmesser und dem zusätzlichen Winddruck; dazu kommt noch im Winter Vereisung der Drähte (Rauhfrost). Alle diese Einflüsse zusammen können eine recht erhebliche Belastung für die Glocke bilden. Diese muß daher mechanisch so fest sein, daß sie diesen Kräften Widerstand zu leisten vermag. Viel eher mag ein Draht reißen oder eine Stütze krumm gebogen, als eine Glocke gesprengt werden. Wie schon gesagt, sind die mechanischen Belastungen einer Glocke praktisch unabhängig von der Betriebsspannung, denn man sucht ja gerade dann mit der Spannung hoch zu gehen, wenn sich bei der Berechnung einer Leitungsanlage zu starke, also zu teure Kupferquerschnitte ergeben. Am liebsten möchte man mit dem Drahte arbeiten, der aus Festigkeitsgründen eben noch zulässig ist. Bei mäßigeren Spannungen läßt sich dies auch erreichen, auch bei höheren Spannungen geht es noch, wenn die zu übertragenden Leistungen nicht zu erheblich sind. Liegen aber die Verhältnisse so, daß man sich mit der Betriebsspannung der physikalischen Ausführungsmöglichkeit nähert, so wachsen wieder die Kupferquerschnitte*) und damit die

*) schließlich bis zur Unrentabilität.

mechanische Belastung der Glocke. Also ganz unabhängig von der Betriebsspannung ist die mechanische Festigkeit doch nicht; größere Glocken sollen daher mechanisch etwas reichlicher dimensioniert sein. Günstig in diesem Sinne wirkt der Umstand, daß die Wandstärken für hohe Spannung mit Rücksicht auf Durchschlagsfestigkeit an sich stärker ausfallen. Dieses gegenseitige Verhältnis zwischen mechanischer und elektrischer Festigkeit bringt es mit sich, daß bei einem Satze planmäßig durchkonstruierter Glocken die kleinen mechanisch reichlich, dagegen elektrisch überreichlich, die großen aber elektrisch reichlich und eher mechanisch überreichlich ausfallen werden. Die Deltaglocken sind so dimensioniert, daß die Druckfestigkeit in der Scheitelrille bei den kleineren Glocken mit etwa 1000 kg einsetzt und bei den großen Glocken etwa 3000 kg erreicht. Die Zugfestigkeit in der Halsrille ist in allen Fällen so groß, daß eher die Stütze krumm gezogen, als der Kopf abgesprengt wird, selbst wenn die Stütze aus bestem Werkzeugstahle besteht. Diese Zahlen lassen erkennen, daß eher der auf der Glocke verlegte Draht reißen wird, als daß die Glocken gesprengt würden. In das Kapitel der mechanischen Festigkeit gehört auch die Widerstandsfähigkeit gegen böswillige Verletzung der Glocken durch Steinwürfe oder dergleichen. Auch hiergegen ist das Hartporzellan durchaus nicht so ungünstig daran, wie man infolge der Sprödigkeit des Materials zunächst vermuten sollte. An sich ist Porzellan gegen Druck besonders fest (vergl. S. 41) und es gehört schon ein kräftiger Wurf mit einem harten Stein dazu, eine Verletzung hervorzurufen. Aber auch dann tritt noch keine Zersplitterung des ganzen Isolators ein, wie dies z. B. bei Glas der Fall ist, sondern infolge des kurzen, muscheligen Bruches brechen nur Stücke aus, ohne daß weitlaufende und durchgehende Sprünge entstehen; mit einem Steinwurf allein wird noch keine Glocke außer Betrieb gesetzt! Es ist vielfach nur der Reiz der weißen Fläche, der den Isolator als Zielobjekt begehrenswert erscheinen läßt. Durch Verleihung einer neutralen, braunen (erdfarbigen) Glasur verliert er sehr wesentlich von seiner Auffälligkeit und reizt daher weniger zu Angriffen genannter Art. Auch ermöglicht die braune Glasur leichter die Auffindung von schadhaft gewordenen Stücken, weil die Bruchfläche weiß erscheint.

Die Oberflächenisolation

spielt zwar keine so wichtige Rolle (vergl. hierzu Abschn. 12 S. 43) wie die bislang besprochenen Eigenschaften, sie muß aber trotzdem

zur Beurteilung des Wertes einer Hochspannungsglocke mit in Betracht gezogen werden; denn wenn sie zu gering ist, so kann dies infolge Stromüberganges zu Unträglichkeiten führen, durch die zwar weniger die eigene Anlage, als vielmehr benachbarte fremde Leitungen, besonders von Schwachstrom- (Telephon- und Telegraphen-) Anlagen in Mitleidenschaft gezogen werden. Sie hängt im wesentlichen ab von der Weglänge, welche die Stromfäden zu überwinden haben, um von der Bundrille bis zur Stütze gelangen zu können, und ferner noch sehr wesentlich von dem Verhältnis der durch Regen benetzten Flächen zu den trocken bleibenden. Je kleiner dieses Verhältnis, um so besser ist es. Bei der Deltaglocke liegen in dieser Beziehung die Verhältnisse recht günstig, wie schon aus der Anordnung der sich gegenseitigen Schutz und Deckung gewährenden Mäntel zu ersehen ist. Durch diese Anordnung bleibt der Isolator selbst unter Einwirkung des von unten kommenden Spritzwassers, welches von den Gestängteilen (Tragarmen) zurückgeworfen wird, in seinen innersten Hohlräumen trocken. Die Deltaglocken sind außerdem so entworfen, daß das Oberflächenverhältnis bei allen Typen praktisch dasselbe und um 50—100 % günstiger als bei den Glocken älterer Formgebung ist.

Die Oberflächenisolation ist aber noch abhängig von der Beschaffenheit der Oberfläche. Die Glasur ist hierfür vorzüglich geeignet, denn sie isoliert nicht nur an sich sehr gut, ganz gleichgültig, welche Farbe sie besitzt, sondern sie hat auch eine außerordentliche Härte (vergl. Abschn. 9 S. 42) und Widerstandskraft gegen chemische und atmosphärische Einflüsse und wird von Wasser nicht benetzt. Aus diesem Grunde sollen auch die Glockenränder glasiert sein und nicht rauh, wie man dies bei Glocken älterer Form infolge des Brennverfahrens noch antrifft. Während Wasser an der glatten Oberfläche ohne weiteres abläuft, kann Schnee, wenn er dicht fällt, auf dem Isolator liegen bleiben. Dies ist aber ohne praktische Bedeutung, denn erstens isoliert Schnee und dann befreit sich der Isolator von selbst, denn bei dem geringsten sich bildenden Isolationsstrome wird genügend Wärme frei, um die Berührungsfläche der Schneehaube wässerig zu machen, und dann gleitet die ganze Schneedecke herab. Diese Wirkung tritt um so prompter ein, je höher die Betriebsspannung ist. Auch Staub und Ruß haftet nur schlecht an der Glasur und wird durch Wind und Regen entfernt.

Die Hohlräume zwischen den Mänteln sind bei fast allen Isolatoren älterer Formgebung sehr schmal und tief. Die Praxis hat gezeigt, daß solche Hohlräume, in welche das Tageslicht nur unge-

nügend eindringen kann, ein beliebter Zufluchtsort von Insekten wird, welche durch ihre Gespinste und Sekrete diese Räume oft derartig ausfüllen, daß sie ihrem Zwecke vollständig entzogen werden. Besonders in den wärmeren südlichen Ländern sind Fälle vorgekommen, daß Fernleitungen außer Betrieb gesetzt werden mußten, bis die durch Insekten unbrauchbar gewordenen Isolatoren ausgetauscht waren.*) Bei der Deltaglocke kann infolge der nach außen sich stark erweiternden Hohlräume das Tageslicht vollkommen in diese eindringen. Da diese Hohlräume weit und geräumig sind, so findet auch der Wind widerstandslosen Zutritt, wodurch, wie die Praxis gezeigt hat, den Insekten der Aufenthalt darin verleidet ist, und auch die Anhäufung von Schmutz im Innern praktisch verhindert wird. Auch dies sind wertvolle Eigenschaften, die der Gesamtisolation zugute kommen und einen gleichmäßigen, dauernd guten Zustand der Glocke gewährleisten.

Verluste in Hochspannungsglocken.**

Porzellanisolatoren spielen in Leitungsanlagen die Rolle kleiner Kondensatoren. Der Draht bildet den einen, die Stütze (Erde) den anderen Beleg und die Porzellanmasse das Dielektrikum. In diesem werden Verluste auftreten, die ihre Ursache in zwei verschiedenen Vorgängen haben. Einmal tritt Umelektrisierung des Dielektrikums auf, begleitet von elektrostatischer Hysteresis, und dann ein Verlust Ohmscher Art infolge der Oberflächenleitung und stillen Entladung. Die in Fig. 101 gegebene graphische Darstellung sind Versuchsergebnisse, die sich auf einen Isolator älterer Form, Type Nr. 401 (Fig. 102), beziehen. Zum Vergleiche sind in Fig. 103 die Ergebnisse von Versuchen an einer kleineren Deltaglocke Nr. 358 (nach Fig. 98 S. 79) dargestellt, die bezüglich Randentladung und Betriebsspannung der Type Nr. 401 gleichwertig ist, dagegen nur 900 g wiegt, während Nr. 401 ein Gewicht von 1550 g besitzt. Die sonstige Überlegenheit der Deltaglocke geht aus der Gegenüberstellung der Hauptergebnisse beider Versuchsreihen hervor (S. 92—93). Damit die Zahlen nicht zu klein werden, soll für beide Glocken angenommen werden, daß zwischen Bund und

*) Neuerdings wird aus unseren Kolonieen berichtet, daß hauptsächlich weiße Ameisen die Hohlräume der Telegraphenglocken und selbst deren Außenflächen mit Erde zubauen. Desgleichen nisten sich Spinnen ein und verbinden Glocke, Stütze und Gestänge durch feste Gewebe. Auch durch Webervögel werden kunstvoll geflochtene Nester an die Isolatoren angehängt.

**) Ausführliches siehe E. T. Z. 1903 S. 1028.

Stütze eine Spannung von 25 000 Volt herrsche. Dieser Spannung würde eine Betriebsspannung von etwa 50 000 Volt (zwischen Draht

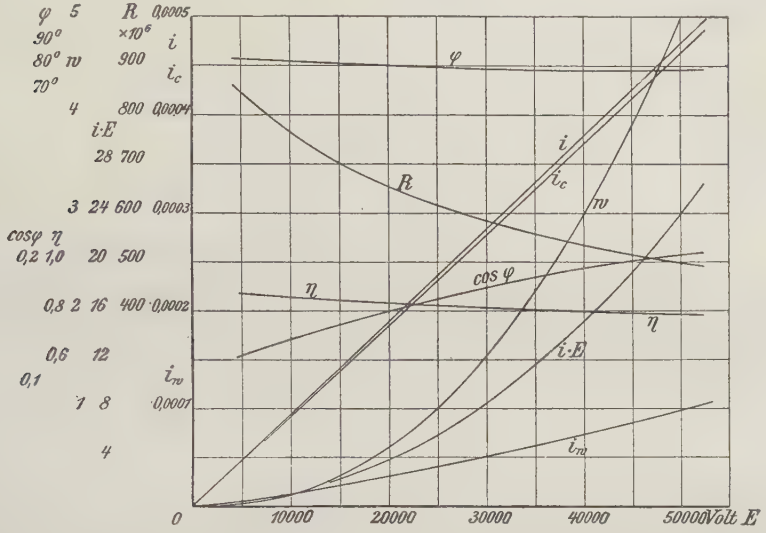


Fig. 101.

und Draht) entsprechen. Allerdings wäre diese Spannung für beide Glocken zu hoch. Sie ist aber außer dem erstgenannten Grunde noch deshalb gewählt, damit in den Zahlen zugleich die Größenordnung hervortritt, die bei einer mit 50 000 Volt betriebenen Anlage bezüglich der dann zu verwendenden Isolatoren zu erwarten steht.*) Damit auch den Verhältnissen Rechnung getragen ist, die eintreten, wenn eine Leitung Erdschluß bekommt, sind noch die für eine Spannung von 50 000 Volt zwischen Bund und Stütze gültigen Ziffern herausgegriffen. Sämtliche Zahlen gelten für sinusförmigen Wechselstrom von 50 Perioden. Zu den Kurven und der Tabelle ist folgendes zu bemerken: Die Verluste in Watt sind die Summe der durch

Fig. 102. M. 1 : 4.

*) Inzwischen angestellte neuere Versuche haben gezeigt, daß die in Fig. 103 für ein beliebiges Deltamodell wiedergegebenen Kurven ohne wesentliche Abweichungen auch auf andere Deltamodelle angewendet werden dürfen. Man ist somit in der Lage mit Hilfe der Fig. 103 für jedes Deltamodell bei gegebener Betriebsspannung die etwa zu erwartenden elektrischen Größen zu bestimmen.

Vergleichs-Tabelle zwischen

Bezeichnung der Glocke	Verluste in Watt bei		Scheinbare Watt bei		Strom bei	
	25000 V	50000 V	25000 V	50000 V	25000 V	50000 V
Nr. 401	1,00	4,98	5,9	23,7	0,000237	0,000474
Delta Nr. 358	0,61	2,45	5,2	20,9	0,000200	0,000418

Anmerkung: Die angegebenen Spannungen

elektrostatische Hysteresis und Oberflächenleitung bezw. Entladung entstehenden Einzelverluste. Diese Verluste wachsen bei der Glocke Nr. 401 etwas rascher als das Quadrat der Spannung (etwa mit der

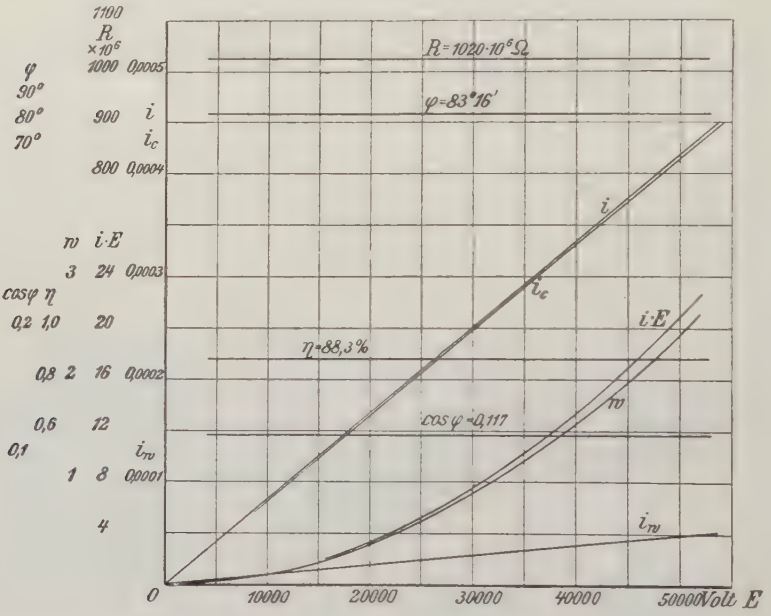


Fig. 103.

2,26. Potenz), während sie bei Delta Nr. 358 genau mit dem Quadrate zunehmen. Absolut sind die Verluste bei der Glocke Nr. 401 höher, besonders bei höherer Spannung, deshalb sind auch die Wirkungsgrade dieser Glocke niedriger als bei der Delta Nr. 358. Diesen wirklichen Watt stehen die scheinbaren Watt gegenüber, die ebenfalls mit dem Quadrat der Spannung zunehmen. Sie sind bei

Isolator Nr. 401 und 358.

cos φ bei		Kapazität in Mikrofarad	Fiktiver Verlustwiderstand in Megohm bei		Wirkungsgrad in % bei	
25000 V	50000 V		25000 V	50000 V	25000 V	50000 V
0,17	0,21	0,0000296	623	502	83,1	79,0
0,12		0,0000264	1020		88,3	

gelten zwischen Bund und Stütze.

der Deltaglocke nur wenig geringer. Aus diesem Grunde sind auch die von den Glocken aufgenommenen Ströme etwa gleich. Diese haben eine Phasenverschiebung (cos φ) gegen die Spannung, und zwar eilt der Strom der Spannung vor. Der Strom läßt sich in zwei Komponenten zerlegen, die eine in die Richtung der Spannung, die andere senkrecht dazu. Die erstere deckt die Verluste, sowohl die durch elektrostatische Hysteresis, wie die durch Oberflächenleitung und stille Entladung, sie muß daher, mit der Spannung multipliziert, die Verluste in Watt ergeben. Während nun diese Komponente bei der Delta Nr. 358 proportional der Spannung ist, ist sie es bei der Glocke Nr. 401 nicht. Bei dieser nimmt die Verlustkomponente des Stromes mit der Spannung zu. Bildet man daher den Ausdruck Spannung : Verlustkomponente des Stromes, so stellt dieser einen Widerstand dar, der fiktiver Verlustwiderstand genannt sei, weil man sich in ihm die durch Hysteresis und Oberflächenleitung gebildeten Verluste entstanden denken kann. Dieser Widerstand ist bei der Delta Nr. 358 wesentlich höher und konstant, während er bei der Glocke Nr. 401 langsam mit zunehmender Spannung sinkt. Darin ist der Grund zu erblicken, daß in der Deltaglocke die Verluste nicht nur erheblich geringer, sondern daß sie auch dem Quadrate der Spannung proportional sind, während sie in der Glocke Nr. 401 mit der Spannung in einer höheren Potenz wachsen. Die zur Spannung senkrechte Stromkomponente stellt den Ladestrom der Glocke dar. Er ist bei beiden Glocken der Spannung porportional, was beweist, daß die Kapazität und somit die Dielektrizitätskonstante von der Spannung unabhängig ist (vergl. Abschn. 14 S. 46). Der Ladestrom ist bedeutend größer als der Verluststrom und bildet den größten Teil des Gesamtstromes. Daher ist auch die Phasenverschiebung (cos φ) erheblich, und zwar wegen der geringeren Verluste bei der

Delta Nr. 358 bei dieser größer als bei der Glocke Nr. 401. Weil bei dieser der Verluststrom aber mit der Spannung zunimmt, so nimmt auch cos φ mit der Spannung zu, während er bei der Delta Nr. 358 konstant und von der Spannung unabhängig ist, weil bei dieser Glocke beide Stromkomponenten der Spannung proportional sind. Berechnet man aus dem Ladestrom die Kapazität, so erhält man für beide Glocken etwa gleichgroße Werte, die von der Spannung unabhängig sind, weil auch die Ladeströme unabhängig sind. Da man einen Isolator somit als technischen Kondensator betrachten kann, dem scheinbare Watt zugeführt werden, von denen wirkliche Watt darin verloren gehen, so kann man auch von einem Wirkungsgrad sprechen, der gleich ist scheinbare Watt minus wirkliche Watt durch scheinbare Watt. Dieser ist bei dem Isolator Nr. 401 wegen der Abhängigkeit des fiktiven Verlustwiderstandes bezw. der Phasenverschiebung von der Spannung, ebenfalls von der Spannung abhängig und sinkt mit dieser. Dagegen ist bei Delta Nr. 358 der Wirkungsgrad konstant, und weil die Verluste in diesem Isolator an sich geringer sind, so ist sein Wirkungsgrad wesentlich höher als bei der Glocke Nr. 401.

In einer Anlage sind die Kapazitäten der Glocken unter sich parallel geschaltet, sie addieren sich und liegen auch parallel zur Kapazität der Linie; sie vergrößern somit diese, wenn auch nicht erheblich. Bekommt eine Leitung Erdschluß und tritt somit zwischen Bund und Stütze der Glocken die volle Betriebsspannung auf, so steigen die Verluste in den Glocken (wenn wir annehmen, daß Deltaglocken verwendet wären) bei Einphasenstrom im Verhältnis $1 : 2^2 = 1 : 4$, bei Drehstrom im Verhältnis $1 : (\sqrt{3})^2 = 1 : 3$. Indessen ist zu beachten daß in einer derartig geerdeten Anlage ein Teil der Glocken verlustfrei wird, da für sie die Spannung zwischen Bund und Stütze Null wird. Bei Einphasenstrom sind dies die Hälfte, bei Drehstrom ein Drittel der Glocken. Die Gesamtverluste in den Glocken wachsen daher nur im Verhältnis $1 : 2^2 \cdot \frac{1}{2}$ bezw. $1 : (\sqrt{3})^2 \cdot \frac{2}{3}$, d. h. unabhängig von der Stromart im Verhältnis 1 : 2.

Über die

Stützen

der Hochspannungsisolatoren wäre noch ein Wort zu sagen. In Amerika, wo Anlagen mit hoher Spannung infolge der dort günstigeren Verhältnisse sich rascher entwickelten als in Europa, verwendete man von Anbeginn ziemlich allgemein Stützen von Holz. Es erscheint dies

befremdlich; denn daß Holz nur ein sehr mäßiges Konstruktionsmaterial ist — besonders wenn es auf mechanische Festigkeit, wie bei Stützen, ankommt —, steht außer allem Zweifel. Es zeigte sich daher auch sehr bald, daß nur die allerzähesten und besten Holzarten vor einem Mißerfolg von vornherein schützten. Man verwandte Akazien-, Eichen- und Eukalyptusholz, alles Holzarten, die in unseren Wäldern nicht zu finden sind, denn auch unser deutsches Eichenholz ist dem amerikanischen nicht gleich, denn es ist kurzbrüchiger. Nun ist es ja naheliegend, zu fragen, warum wendete man denn keine Eisenstützen, wie in Europa üblich, an? Das ist der springende Punkt. Die Isolatoren waren dafür nicht gut genug, sie schlugen entweder nach den Stützen durch oder zeigten so erhebliche Randentladungen, daß Kurzschlüsse über die Gestänge an der Tagesordnung waren, und deshalb griff man zu Holzstützen und betrachtete diese gewissermaßen als ein isolierendes Zubehör des Isolators. So konnte man zunächst Leitungen aufbringen, mit denen man wenigstens in den Betrieb gehen konnte, aber im Punkte der Dauerhaftigkeit und Sicherheit haben Holzstützen nie befriedigt. Die Verhältnisse in Amerika liegen aber auch ganz anders wie bei uns in Europa; niederbrechende Stützen, herunterfallende Leitungen, brennende Maste haben dort lange nicht die Bedeutung wie bei uns zulande. So schien es zunächst, abgesehen von diesen als selbstverständlich hinzunehmenden Vorkommnissen, mit den Holzstützen ganz leidlich zu gehen. Aber das dicke Ende kam nach. Es stellte sich schon nach ein, zwei Jahren heraus, daß der Isolationswert der Holzstützen immer mehr herunterging, daß sie anfingen leitend zu werden. Schließlich fingen sie an der Oberfläche an zu verkohlen und auch sonst mürbe und immer brüchiger zu werden. Eine Imprägnierung mit Asphalt, Leinöl und Paraffin verzögerte zwar diese Wandelung, konnte sie aber nicht verhindern, ja hatte bis zu einem gewissen Grade sogar die Gefahr des Ausbrennens gesteigert. Der Grund hierfür ist leicht einzusehen. Erstens ist Holz an sich ein Material, das unter der Einwirkung der Luft und Feuchtigkeit nur eine begrenzte Lebensdauer besitzt. Diese wird aber sehr wesentlich herabgesetzt, wenn noch, wie im vorliegenden Falle, chemische Einflüsse besonderer Art hinzutreten. Die Isolatoren sind — wie schon erwähnt — kleine Kondensatoren. Bei genügender Spannung bilden sich an den Rändern der Belegungen Entladungen, die, solange sie noch nicht dem Auge sichtbar oder dem Ohre hörbar sind, als „stille Entladungen" bezeichnet werden. Wächst die Spannung, so werden aus den stillen Entladungen unter zischendem Geräusch sichtbare Ent-

ladungen, die die Form von Glimmlicht, Büschel- und kleinen Funkenentladungen annehmen. Alle diese Entladungen haben die Eigenschaft, daß sie Ozon in erheblichen Mengen entwickeln, welches stark oxydierende Eigenschaften besitzt und besonders die Pflanzenfaser angreift. Neben Ozon entsteht aber noch Stickoxyd, welches mit feuchter Luft Salpetersäure bildet. Dem Zusammenwirken beider gelingt es alsbald auch, imprägnierte Oberflächen zu zerstören und sie nicht nur leitend zu machen, was im vorgeschrittenen Stadium zum Ankohlen führt, sondern auch der Feuchtigkeit den Zutritt ins Innere der Stütze zu erleichtern, was wiederum eine gesteigerte Zerstörungstätigkeit zur Folge hat. Daher ist es auch begreiflich, daß nach einiger Zeit, vielleicht befriedigten Arbeitens, das Austauschen der Stützen zu einer Kalamität wird. In manchen Anlagen nimmt man dies als selbstverständlich hin und hat die ganzen Verhältnisse darauf zugeschnitten, wie man sich schließlich auch daran gewöhnen muß, abgebrannte Stearinkerzen durch neue zu ersetzen.

Es geht aus diesen Darlegungen hervor, daß die Eisenstütze das einzig Richtige ist und daß alle Bemühungen darauf gerichtet sein müssen, die Isolatoren so herzustellen, daß sie nicht durchschlagen werden, und daß man nicht genötigt ist, zu so problematischen Mitteln wie Holzstützen greifen zu müssen. Abgesehen davon, daß Eisen bezüglich seiner mechanischen Eigenschaften von keinem anderen Material übertroffen wird, ist es auch Ozon gegenüber beständig, und da es nicht wie Holz hygroskopisch ist, nimmt es keine Feuchtigkeit auf und gibt somit keine Veranlassung zur Bildung von Salpetersäure; seine Sicherheit gegen Ausbrennen ist selbstverständlich. Aber auch noch ein sehr realer Punkt spricht für Eisenstützen. Die Holzstützen sind, um nur einigermaßen zu halten, bedeutend dicker als Eisenstützen. Deshalb werden die Stützenlöcher der Isolatoren groß und die Glocken wesentlich schwerer, also teurer, ohne dadurch besser zu werden. Auch hierin zeigt es sich wieder, daß für Hochspannungsglocken das erstklassigste Material das billigste ist.

Über die Befestigung der Stützen im Isolator ist im Abschnitt VI unter C. c. das Nötige gesagt. Da dieser Punkt sehr wichtig ist, weil durch unzweckmäßige (treibende) Kittmittel (Gips, Schwefel) selbst der beste Isolator unbrauchbar gemacht werden kann, so sei an dieser Stelle nochmals auf das dort Gesagte hingewiesen.

Ein letzter Punkt, der noch zu erörtern ist, ist die Frage, wie lang soll die Stütze gewählt werden? Diese Frage erledigt sich mit der Beantwortung der allgemeineren: Wie nahe dürfen ge-

erdete Teile an die Glocke herangebracht werden? Wiederum maßgebend hierfür ist der ungünstigste Fall, in den die Glocke während des Betriebes kommen kann, und das ist, wie schon mehrfach betont, das Niedergehen eines heftigen Regengusses, während zugleich (infolge eingetretenen Erdschlusses) zwischen Bund und Stütze des Isolators die volle Betriebsspannung herrscht. Da auf S. 83 dargelegt worden ist, daß für gewöhnlich die Betriebsspannung nur nach Maßgabe der dem Isolator eigentümlichen Randentladespannung gewählt werden darf, so kommt es schließlich darauf an, festzustellen: Wie weit kann eine um den Isolator gelegte Drahtschlinge, die mit der Stütze in Verbindung steht, zusammengezogen werden, ohne daß die sonst nach der Stütze gehenden Randentladungen auf die Schlinge überspringen? Es ist dann klar, daß sich innerhalb der so ermittelten Entladezone keine geerdeten oder richtiger überhaupt keine Körper, wenn auch nur vorübergehend, befinden dürfen.

Diese Zone läßt sich nur experimentell bestimmen und die für Hermsdorfer Glocken angegebenen Abstände von benachbarten Glocken und Gestängeteilen (woraus sich die Stützenlänge ergibt) beruhen auf solchen experimentellen Unterlagen. Es leuchtet ein, daß die Entladezone ein Rotationskörper sein muß, dessen Schwerlinie zusammenfällt mit dem unteren Rande des äußeren Glockenmantels. Denn dieser ist unter der gemachten Voraussetzung mit Wasser überzogen und die Entladungen nehmen daher strahlenförmig nach allen Seiten vom unteren Rande ihren Ausgang.

Die ganzen Betrachtungen dieses Kapitels beziehen sich auf Porzellanglocken und insbesondere solche Hermsdorfer Fabrikates. Es werden aber auch

Isolatoren aus Glas

angefertigt, die, in Amerika wenigstens, gegen Porzellanglocken ausgespielt und aus gewissen geschäftspolitischen Gründen auch in Hochspannungsanlagen angewendet wurden. Es dürfte daher interessieren, auch Glas als Konstruktionsmaterial für Hochspannungsglocken einer kurzen Betrachtung zu unterziehen. Bezüglich seiner elektrischen Eigenschaften liegt es zwischen halb und ganz verglastem Porzellan. Was die Durchschlagsfestigkeit anbelangt, so ist es in seinen edleren Qualitäten, die allerdings für Isolatoren des Preises wegen kaum in Betracht kommen, dem Hartporzellan nicht nachstehend. Aber seine mißlichste Eigenschaft ist seine große Sprödigkeit und die außerordentliche Emp-

findlichkeit gegen Temperaturschwankungen. Trotz bester Kühlung ist das Glas immer voller Spannungen und sein Bruch daher nicht kurz und muschelig wie bei Porzellan, sondern splitterig und von Sprüngen nach allen Richtungen begleitet. Ein Steinwurf kann einen Glasisolator vollständig betriebsunbrauchbar machen. Die Temperaturempfindlichkeit ruft die meisten Störungen hervor, und besonders häufig brechen die Glocken, wenn sie nach einer kalten Nacht von der Sonne beschienen werden. Die Oberflächeneigenschaften des Glases stehen ebenfalls jenen des Hartporzellans nach. Es ist hygroskopischer und daher sein Isolationswiderstand geringer. Die Oberfläche vermag den atmosphärischen Einflüssen nicht dauernd Widerstand zu leisten; sie löst sich allmählich, sie verwittert, das „Glas wird blind". Die Folge davon ist, daß Staub, Schmutz und Feuchtigkeit in erhöhtem Maße daran haften bleiben. Schon im Abschn. 9 S. 42 ist auf die geringe Härte des Glases aufmerksam gemacht, die die Ursache dieses Verhaltens ist. Daß in Amerika Glas gegen Porzellan überhaupt in Betracht kommen konnte, lag, abgesehen von den eingangs angedeuteten Gründen, darin, daß dort auch die Porzellanglocken recht viel zu wünschen übrig ließen; es ergibt sich dies schon aus den Härteprüfungen S. 43 und der Einführung der Holzstützen. In Europa hat weder die Holzstütze noch der Glasisolator aufkommen können.

Es würde dieser Abschnitt nicht vollständig sein, wenn nicht zum Schlusse noch eines Hochspannungsisolators Erwähnung getan würde, der heute wohl nur noch historisches Interesse hat, der aber doch seinerzeit viel von sich reden machte und bei der berühmten Lauffen-Frankfurter Kraftübertragung auf der elektrischen Ausstellung zu Frankfurt a. M. 1891 zur Anwendung gelangte, seine Feuerprobe aber nicht bestand. Es ist der sogenannte

Ölisolator.

Fig. 104 stellt einen solchen Isolator dar; der Lauffner war von etwas anderer Form, beruhte aber auch auf dem Prinzip durch einen nach innen umgebogenen, mit Öl gefüllten Rand den Strömen, die über die Oberfläche der Glocke nach der Stütze entweichen wollen, einen möglichst hohen Widerstand (Öl) entgegenzusetzen. Nun wurde schon früher entwickelt, daß der sogenannte Verluststrom eines Isolators größtenteils Ladestrom ist, der vorhanden ist, ob nun Öl in dem Isolator ist oder nicht. Es ist aber auch gezeigt worden, daß es bei einem Hochspannungsisolator in erster Linie auf Durchschlags-

festigkeit und Sicherheit gegen Randentladung ankommt, ebenfalls zwei Bedingungen, die mit der Gegenwart von Öl nichts zu tun haben. Aus diesem Grunde sind die Voraussetzungen, die bei der Konstruktion von Ölisolatoren gemacht wurden, in Wirklichkeit nicht zutreffend, und deshalb konnten sie auch als Hochspannungsglocken keinen besonderen Wert haben. Aber auch bezüglich der beabsichtigten hohen Oberflächenisolation hatte es seine eigene Bewandtnis. Solange reines Öl in der Rinne war, war diese allerdings vorhanden. Nun kondensierte aber durch die Temperaturwechsel Wasser auf der Innenwand und dieses gelangte in Form feiner Tröpfchen in das Öl. Infolge ihres größeren spezifischen Gewichtes sanken sie unter und sammelten sich am Boden und hoben auf diese Weise langsam und allmählich das Öl, das dann über den Rand ausfloß. Schließlich kam es vor, daß anstatt Öl Wasser in der Glocke war, und damit war gerade das Gegenteil von dem erreicht, was man erreichen wollte. Aber auch die Insekten machten viel zu schaffen. Ameisen, Mücken, Fliegen, Spinnen fand man immer in großer Zahl im Öle schwimmend, und in der Tivolianlage in Rom, die vor Jahren auch einmal mit Ölisolatoren ausgerüstet war, hatten die Insektenkörper das Öl wie ein Schwamm aufgesogen, so daß die Isolatoren entfernt werden mußten. Schlug ein noch Öl enthaltender Isolator durch, so geriet das Öl nicht selten in Brand und floß in diesem Zustande am Mast hinunter. Auf diese Weise brannten in der erwähnten Lauffner Anlage einige Maste vollständig nieder. Aus den genannten Gründen konnte daher der Ölisolator keinerlei Bedeutung erlangen und dürfte damit heute so ziemlich in Vergessenheit geraten sein.

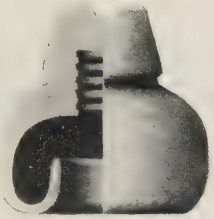


Fig. 104.

V. Der theoretische Leitungsbau.

Von H. Wallem.

Zusammenstellung der häufiger vorkommenden Bezeichnungen.

J und i = effektive Stromstärke pro Leiter in Ampere.
E = effektive Spannung in Volt.
E_{pr} = effektive primäre Klemmenspannung in Volt.
E_{sec} = effektive sekundäre Klemmenspannung in Volt.
E_L = induktiver Spannungsabfall.
V = Potential.
W = Widerstand in Ohm.
Q = Ladung bezw. Elektrizitätsmenge.
r = Radius des Leitungsdrahtes in cm.
q = Querschnitt in qmm.
d = Abstand zweier Leitungen in cm.
l = Leitungslänge in cm bezw. m.
h = Höhe der Leitung über Erde in cm.
L = Koeffizient der Selbstinduktion in Henry.
M = Koeffizient der gegenseitigen Induktion in Henry.
$\mathcal{L}$ = Koeffizient der resultierenden Induktion in Henry.
R = Reaktanz in Ohm.
Z = Impedanz in Ohm.
f = Impedanzfaktor.
C = Kapazität in Mikrofarad (Mf) pro km Leitung.
A = Ableitung.
k = Leitungsfähigkeit.
n = Periodenzahl pro Sekunde.
$\omega = 2\pi n$ = Winkelgeschwindigkeit.
t = Temperatur in ^{0} Celsius.
α = Temperaturkoeffizient.

lognat = Logarithmus naturalis.
log = Briggscher Logarithmus.
φ_{pr} = Verschiebung des Stromes gegen die primäre Spannung.
φ_{sec} = Verschiebung des Stromes gegen die sekundäre Spannung.

A. Gegenseitiger Abstand der Drähte und Anordnung derselben mit Rücksicht auf Störungsfreiheit in der Telegraphie und Telephonie.

Für Gleichstromkreise gilt das Ohmsche Gesetz $I = \frac{E}{W}$, wo I = Stromstärke in Ampere, E = Spannung der Stromquelle in Volt, und W = Widerstand in Ohm, welcher außer von der Länge l in m, dem Querschnitt q in qmm und der Leitungsfähigkeit k nur von der Temperatur t in ^{0}C abhängt. $W = \frac{l}{k \cdot q}(1 + \alpha t)$; α = Temperaturkoeffizient. Für Kupfer ist bei 0^{0}C k = 60 und α = 0,0038; für Aluminium ist k = 37 und α = 0,0039; für Eisen ist k = 8—10 und α = 0,0040. Solange Spannung und Widerstand unverändert bleiben, ist die Stromstärke konstant.

In der Telegraphie sowohl wie in der Telephonie und ferner auch bei den Wechselstromsystemen der Starkstromtechnik haben wir es jedoch mit Strömen von veränderlicher Intensität, und zwar in der Telegraphie unter Verwendung von Gleichstrom mit kurzen Stromstößen, in der Telephonie (überhaupt in Wechselstromkreisen) dagegen mit wellenförmigen elektrischen Strömen zu tun, deren Fortpflanzung im wesentlichen außer durch den Widerstand noch durch drei weitere Eigenschaften der betreffenden Leitung bestimmt wird: durch ihre Selbstinduktion L, ihre Kapazität C und ihre Ableitung A, oder das Reziproke derselben, die Isolation (vergl. Absch. VIII). Die außerdem noch auftretenden Erscheinungen der dielektrischen Hysteresis (Isolatoren), der magnetischen Hysteresis (Eisen, Stahl), der Wirbelströme (Metalle) können bei oberirdischen Leitungen aus Kupfer-, Aluminium- oder Bronzedraht, um welchen es sich beim modernen Leitungsbau fast ausschließlich handelt, unberücksichtigt bleiben. — In der Telegraphie kommt bei Verwendung von Gleichstrom*) die Selbstinduktion und

*) In den letzten Jahren sind auch Wechselstromsysteme in der Telegraphie zur Anwendung gekommen, z. B. the Rowland Rapid Telegraph System, Electr. World and Engineer 18. Okt. 1902 u. ff. — Siehe auch: „The Use and Advantages of the Alternating Current for Land Telegraphy", by E. F. Northrup, Electr. World; 8. Nov. 1902.

die Kapazität nur während des veränderlichen Zustandes der Stromstärke, also unmittelbar nach Schließung und beim Unterbrechen des Stromes, zur Geltung.

a) Betrachtung einer Einzelleitung.

Die genannten vier Größen bestimmen das Potential V und die Stromstärke I in jedem Punkt des Drahtes mit Hilfe der partiellen Differentialgleichungen:

$$-\frac{dV}{dx} = W \cdot I + L \cdot \frac{dI}{dt} \text{ und } -\frac{dI}{dx} = A \cdot V + C \cdot \frac{dV}{dt},$$

welche die von Ohm, Neumann und Thomson gefundenen Grundgesetze der elektrischen Strömungen enthalten.*) Es bedeutet hier x den Abstand des betrachteten Querschnitts des Drahtes von einem festgesetzten Anfangspunkte, und t die Zeit. Durch Integration dieser Differentialgleichungen über den ganzen Leiter und durch Wertgebung von x erhalten wir die Werte für V und I in jedem beliebigen Punkt der Leitung.**) Die Größen W, L, C, A sind nicht konstant, sie werden unter anderem von der Beschaffenheit des die Leitung durchfließenden Stromes mitbestimmt.

1. Der effektive Widerstand W_{eff} hängt bei Verwendung von Wechselströmen außer von den Abmessungen, dem Material und der Temperatur auch noch von der Periodenzahl n derselben pro Sekunde***) und von der magnetischen Permeabilität des Materials ab, und ferner findet eine Widerstandszunahme, der sogenannte Skineffekt, hervorgerufen durch ungleichmäßige Stromverteilung im Leiter (am Rande dichter als in der Mitte), statt; letztere ist für die in der Praxis vorkommenden Verhältnisse meist zu vernachlässigen. Für unmagnetisches Material gilt die Gleichung:

$$W_{eff} = W \cdot (1 + 120\, r^4 \cdot n^2 \cdot 10^{-11})\dagger),$$

*) Vgl. Wietlisbach, „Theorie der Fernsprechleitungen", E. T. Z. 1888; Breisig, „Zur Theorie des Verlaufs von Wechselströmen in zwei aufeinander induzierenden Leitungen", E. T. Z. 1895, S. 241 und ff.

**) Vgl. Wietlisbach, „Handbuch der Telephonie".

***) Periodenzahl = halbe Polwechselzahl. Letztere beträgt bei Wechselströmen der Starkstromtechnik gewöhnlich 100 pro Sek., bei Telephonströmen für Männerstimmen etwa 300, für Frauenstimmen etwa 1000, für Obertöne etwa 2000 i. d. Sek.

†) Siehe Kolben, E. T. Z. 1894.

wo W = Ohmscher Widerstand = $\frac{l}{k \cdot q}(1 + \alpha t)$ und r = Radius des Drahtes in cm.

2. Der Koeffizient der Selbstinduktion L, bezogen auf einen fern von allen anderen Leitungen und Eisenmassen frei in der Luft ausgespannten Draht ergibt sich, unmagnetisches Material vorausgesetzt, aus der Gleichung

$$L = 2l\,(\text{lognat}\,\frac{2l}{r} - 0{,}75)\;10^{-9}\;\text{Henry}$$

wobei l und r in cm eingesetzt sind; oder, unter Verwendung Briggscher Logarithmen und für 1 km Länge

$$L = (4{,}6\,\log\frac{2 \cdot 10^5}{r} - 1{,}50) \cdot 10^{-4}\;\text{Henry}\,.$$

Für eine Einzelleitung dagegen, deren Rückleitung die Erde bildet, ist

$$L = 2l\,(\text{lognat}\,\frac{2h}{r} + 0{,}25)\;10^{-9}\;\text{Henry}\,,$$

wobei h = Höhe über dem Erdboden in cm, wie auch l und r, oder unter Verwendung von Briggschen Logarithmen und für 1 km Länge:

$$L = (4{,}6\,\log\frac{2h}{r} + 0{,}5) \cdot 10^{-4}\;\text{Henry}\,.$$

Über die Berechnung von W und L für magnetisches Material und für kleine und große Periodenzahlen siehe Wietlisbach, Handbuch der Telephonie, S. 320 und ff. Während der Widerstand bei Erhöhung der Periodenzahl bis ins Unendliche wächst, nimmt die Selbstinduktion mit Erhöhung der Periodenzahl ab. Selbstinduktion und Widerstand machen sich daher für verschiedene hohe Töne in der Telephonie in ganz verschiedener Weise geltend.

3. Die Kapazität eines Leiters gegen Erde berechnet sich aus der Formel

$$C = \frac{0{,}02414}{\log\frac{2h}{r}}\;\text{Mf pro km Länge}$$

und bedeutet das Verhältnis der auf dem Leiter angehäuften Elektrizitätsmenge zu seinem Potential gegen Erde, also $C = \frac{Q}{V}$.

4. Die Ableitung A, oder der reziproke Wert derselben, der Isolationswiderstand, hängt, ganz allgemein gesprochen, von dem Übergangswiderstand zwischen Draht und Erde ab (vergl. Abschnitt VIII), und dieser ist wiederum abhängig von der Höhe der Betriebsspannung

insofern, als diese die Güte und Stärke der zur Verwendung gelangenden Isolatoren vorschreibt. Eine besondere Form der Ableitung bildet die Stützenladung, welche einen Elektrizitätsübergang von Isolator auf Stütze durch Kondensator- oder Influenzwirkung zur Folge hat.*)

Während die Intensität des ankommenden Stromes einer Schwachstromleitung unter sonst gleichen Verhältnissen von dem Widerstand und der Ableitung derselben abhängt, führt Selbstinduktion und Kapazität eine Verzögerung im Anwachsen und Abfallen des Stromes herbei und verringert daher z. B. in Telegraphenleitungen die Geschwindigkeit der Zeichenübertragung. Das Produkt aus Kapazität mal Widerstand: C . W gibt besonders für Kabel, aber auch für Fernsprechanlagen mit gemischten Leitungen (Luftleitungen kombiniert mit Kabelleitungen) ein Maß für die Güte der Verständigung bezw. für die Länge der Leitung, innerhalb welcher noch eine gute Übertragung stattfindet. Von C . W und von der Größe der Schwingungszahl hängt nämlich die Schwächung des Tones ab, und zwar findet eine ungleichmäßige Schwächung des Grundtones und der zugehörigen Partialtöne, also eine Verzerrung der Laute, statt. Auch beim Telegraphieren ist die Geschwindigkeit der Zeichengebung dem genannten Produkte umgekehrt proportional. Unter C ist die Kapazität des gesamten Stromkreises, also einschließlich der Kapazität der eingeschalteten Apparate, zu verstehen, und ferner gilt das C . W-Gesetz nur, falls Selbstinduktion und gegenseitige Induktion der Drähte sowie die Ableitung zu vernachlässigen ist. Auch gilt ein verschieden großer Wert von C . W für die verschiedenen Telephonapparate.**) Während früher ein Wert von C . W = 12 000 als obere Grenze galt, existieren zurzeit Anlagen mit einem C . W von 30 000 und mehr bei vorzüglicher Lautübertragung. Die Selbstinduktion begünstigt in der Telephonie die hohen Töne, die Kapazität dagegen die tiefen Töne; der Widerstand verkleinert den Einfluß der Selbstinduktion und vergrößert denjenigen der Kapazität, während die Ableitung umgekehrt wirkt. Auch die Magnetisierbarkeit und Polarisierbarkeit der Leitungen zerstört die Reinheit der Übertragung.***) Die Lautübertragung ist eine um so vollkommenere, je kleiner die genannten Größen ausfallen. Die Selbstinduktion der Telegraphenleitungen kann gegenüber derjenigen der Telegraphenapparate vernachlässigt werden. Dieselbe beträgt zirka

*) Vgl. Wilke, „Über die gegenseitigen Beeinflussungen der Fernsprechleitungen“ u. s. w.

**) Vgl. Schäffler, E. T. Z. 1894.

***) Vgl. Wietlisbach, E. T. Z. 1888.

0,0025 Henry pro km Leitung für Kupfer- und Bronzedraht, 0,014 bis 0,016 H/km für Eisendrähte und 0,036 H/km für Stahldraht, während jeder Morseapparat 13 bis 18 H je nach der Ankerstellung und ein Hughesapparat 26 bis 29 H besitzt. Der sich nach der Formel für die Kapazität ergebende Wert (zirka 0,01 Mf pro km) ist als untere Grenze zu betrachten, da derselbe durch die Kapazität der Isolatoren nicht unwesentlich erhöht wird. Letztere beträgt für einen Isolator für Schwachstromleitungen in trockenem Zustande zirka 0,0001 Mf, in nassem dagegen etwa das Vierfache. — Über die Mittel zur Beseitigung des Singens der Drähte, hervorgerufen durch Schwingungen derselben bei schwachem, aber gleichmäßigem Wind, z. B. Umwickelung der Isolatoren mit Filz oder Gummischlauch und Bleiblech, und Befestigung der Drähte auf dieser Unterlage, Verwendung von Kettendämpfern, Bleidraht usw. siehe Wietlisbach, Handbuch der Telephonie, S. 233 u. f. Der Wind kann auch Töne im Telephon erzeugen, falls für die Leitungen Eisendrähte verwendet werden, welche, durch den Wind in Schwingungen versetzt, die isodynamischen Linien des Erdmagnetismus schneiden.

b) Mehrere Einzelleitungen.

Bei mehreren, voneinander unabhängigen, benachbarten Einzelleitungen und bei Doppelleitungen (siehe weiter unten) wird der Verlauf des Stromes außer von den obengenannten Eigenschaften jeder Leitung noch 1. durch Stromübergang von einer Leitung zur anderen, 2. durch Stützenladung und den dadurch ermöglichten Elektrizitätsübergang von einer Leitung zur anderen, ferner durch gegenseitige Induktion, und zwar 3. sowohl durch elektromagnetische, als auch 4. durch elektrostatische Induktion störend beeinflußt,*) durch welche einerseits das Mitsprechen oder Mithören, andererseits (durch Kapazität) eine Verzerrung der Laute entsteht.

1. Stromübergang oder Ableitung findet statt: a) durch unmittelbares Berühren von Leitungen, b) infolge ungenügender Isolation benachbarter Leitungen und c) durch Benutzung oder Mitbenutzung der Erde als Rückleitung.

a) Zur Verhütung des durch unmittelbares Berühren von Leitungen bewirkten Stromübergangs sind die Leitungen in genügend großen Abständen voneinander zu montieren. Für Telegraphenleitungen ist ein Abstand der Drähte von 30—40 cm voneinander gebräuchlich

*) Vgl. Grawinkel und Strecker, „Hilfsbuch für Elektrotechnik“ und Wietlisbach, „Handbuch der Telephonie“.

(Fig. 105), für Stadtfernsprechleitungen 15—30 cm (Fig. 106 und 107), während für Überlandfernsprechlinien ein Abstand von 30—40 cm üblich ist (Fig. 108). Zum Schutz der Apparate und der Personen gegen die Folgen von Stromübergängen von Starkstromleitungen in Telegraphen- oder Telephonleitungen beim Zerreißen eines Drahtes finden Isolierung der Leitungen an den betreffenden Stellen und Schutznetze Anwendung (vergl. die Sicherheitsvorschriften für die Errichtung elektrischer Starkstromanalagen, herausgegeben vom Verbande deutscher

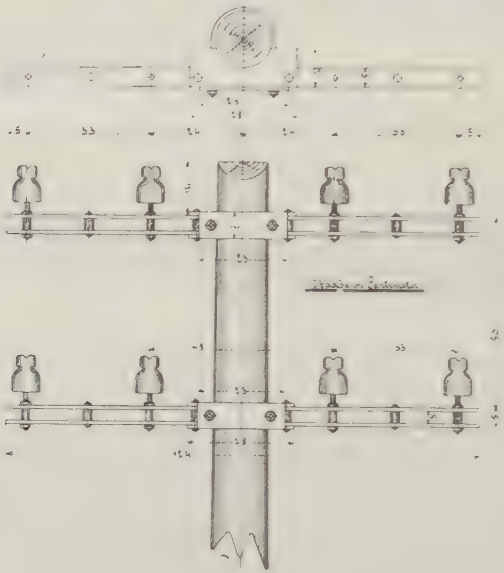


Fig. 105.

Elektrotechniker). Auch werden an den Kreuzungsstellen Schmelzsicherungen in die Schwachstromleitung eingebaut.

b) Zwischen blanken Leitungen an demselben Gestänge findet stets infolge unvollkommener Isolation ein Stromübergang über die Isolatoren und Stützen und über das Gestänge hinweg statt. Bei Telegraphen- und Signalleitungen, welche das gleiche Gestänge benützen, wirkt dieser Stromübergang nicht anders störend ein, als daß er den vom gebenden Amte abgehenden Strom schwächt, was nie so stark der Fall sein darf, daß der Empfangsapparat nicht mehr sicher anspricht. Je stärker die Ableitung, um so mehr muß die Batterie resp. deren Spannung verstärkt werden.*) Dagegen kann bei Fernsprechleitungen schon ein

*) „Handbuch der Elektrotechnik von Heinke, XII. Band. Telegraphie und Telephonie.“

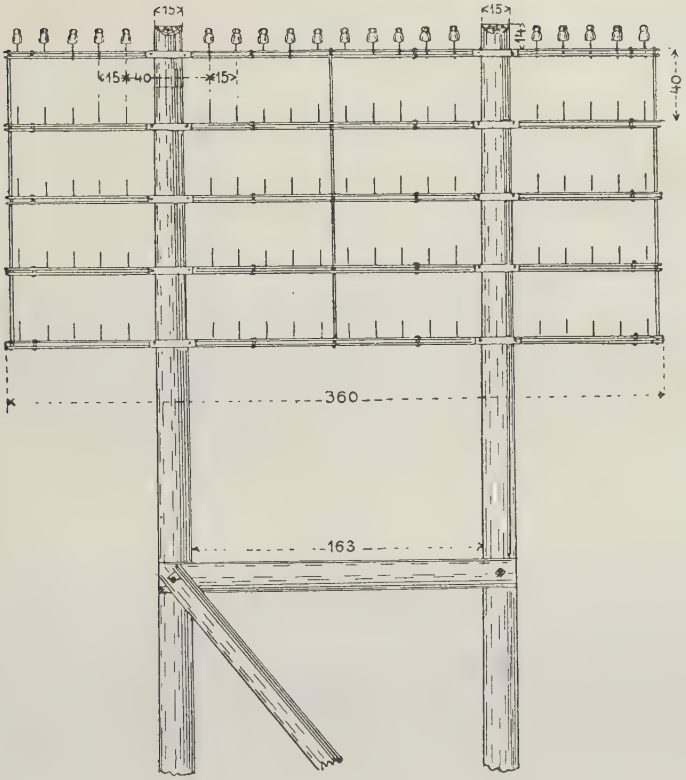


Fig. 106.

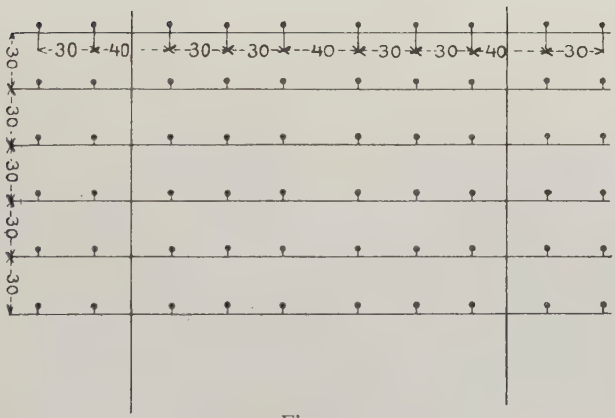


Fig. 107.

geringer Stromübergang durch Erzeugung von Geräuschen im Telephon störend einwirken, weshalb auf gute Isolierung durch Wahl

entsprechender Isolatoren und Reinhaltung derselben um so mehr Gewicht zu legen ist, je länger die Leitung ist.

c) Wird sowohl für Starkstrom- wie für Schwachstromleitungen die Erde oder mit Erde in Verbindung stehende Leiter als Rückleitung benutzt, so kann, wenn sich die Erdleitung für Schwachstrom in der Nähe von Starkstromrückleitungen befindet, bei plötzlichem Ansteigen des Stromes in der Starkstromleitung zwischen der benachbarten Erdplatte der Schwachstromleitung und der zweiten entfernten Platte eine solche Potentialdifferenz entstehen, daß der in der Schwachstromleitung hervorgerufene Stromstoß den Schwachstrombetrieb stört. Dies gilt besonders für Fernsprechbetrieb. Hiergegen hilft nur Trennung des Fernsprechnetzes von der Erde und Verwendung von metallischen Rückleitungen oder von gemeinsamen Rückleitungsnetzen.*)

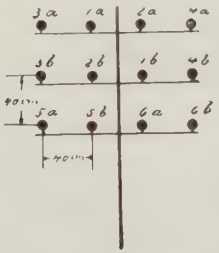



Fig. 108.

2. Stützenladung. Durch die Stützenladung, deren Größe und Wirkung außer von dem Abstande der Leitung von der eisernen Stütze auch von der Anzahl der Isolatoren auf der betreffenden Strecke abhängt, wird, wenn sich die Stützen zweier Leitungen an demselben Gestänge befinden, ein Teil der elektrischen Energie je nach dem Isolationswiderstande der dazwischen liegenden Gestängeteile von der einen Leitung auf die benachbarte übertragen werden und es wird also eine Störung entstehen (bei Telephonleitungen das Mitsprechen), ohne daß irgend eine Induktionswirkung zwischen den Leitungen selbst stattzufinden braucht. Über die Beseitigung der Stützenladung, welche nur bei Doppelleitungen möglich ist, siehe S. 112.

3. Elektrodynamische oder elektromagnetische Induktion. Befindet sich in der Nähe einer Telegraphen- oder Telephonleitung eine andere stromdurchflossene Leitung, so wird in ersterer durch Änderung der Stromstärke in der letzteren (induzierenden) Leitung infolge elektromagnetischer Induktion eine elektromotorische Kraft induziert und infolgedessen bei geschlossenem Stromkreis ein Strom von kurzer Dauer erzeugt, dessen Größe und Richtung von der Größe und Richtung des induzierenden Stromes und davon abhängt, ob der induzierende Strom anwächst oder verringert wird. Ist i_1 der Strom in der induzierenden Leitung und M der Koeffizient der gegenseitigen Induktion der beiden Drähte in Henry, so ist die im zweiten

*) Christiani, E. T. Z. 1895, H. 36.

Draht durch den Strom i_1 induzierte Spannung, sinusförmige Ströme vorausgesetzt, $e_2 = M \cdot \omega \cdot i_1$ Volt, welcher ein Strom $i_2 = \frac{M}{Z_2} \cdot \omega \cdot i_1$ entspricht, wenn Z_2 der scheinbare Widerstand der induzierten Leitung bedeutet. Dieser induzierte Strom fließt durch die im zweiten Draht eingeschalteten (Telephon-) Apparate zur Erde und ruft bei genügender Stärke Störungen hervor. Für die elektromagnetische Induktionskonstante M gilt die Formel:

$$M = 2\,l\,(\text{lognat}\,\frac{2\,l}{d} - 1)\,10^{-9}\ \text{Henry}$$

pro cm Länge, oder, bei Verwendung Briggscher Logarithmen und pro km einfache Drahtlänge:

$$M = (4{,}6\log\frac{2 \cdot 10^5}{d} - 2) \cdot 10^{-4}\ \text{Henry}\,.$$

4. Die elektrostatische Induktion wird durch Ladungs- und Entladungsströme hervorgerufen. Sie verursacht eine Änderung in der Verteilung der Elektrizität in benachbarten Leitungen. Da zwei beliebige parallele Drähte zusammen einen Kondensator von gewisser Kapazität bilden, von welchem die beiden Drähte die beiden Belege sind, so wird durch Veränderung der Ladung in der induzierenden Leitung, in den einzelnen Teilen der benachbarten zweiten Leitung eine Veränderung des Potentials und damit ein Strom von kurzer Dauer in der Längsrichtung des Drahtes hervorgerufen.*) Ist C die elektrostatische Kapazität der beiden Drähte gegeneinander pro Längeneinheit, so ist die im zweiten Draht induzierte Ladung Q, wenn im ersten Draht eine elektromotorische Kraft e wirksam ist, $Q = C \cdot l \cdot e$ (C.G.S.)**) Ändert sich die elektromotorische Kraft bezw. die Ladung im ersten Draht, so ändert sich auch die Ladung im zweiten, und der Ladungsunterschied fließt, falls der Draht geerdet ist, durch die eingeschalteten Schwachstromapparate zur Erde. Die Intensität dieser Ladungsströme ist $\frac{dQ}{dt} = C \cdot l \cdot \frac{de}{dt}$. Nach jeder Seite fließt, vollkommene Isolation vorausgesetzt, die Hälfte davon, daher ist die Intensität der durch elektrostatische Induktion erzeugten Ströme $i = \frac{C \cdot l}{2} \cdot \frac{de}{dl}$ oder sinusförmige Ströme vorausgesetzt, $i = \frac{C \cdot l}{2} \cdot \omega \cdot e$ (C. G. S.). Die Größe

*) Siehe Gavey, E. T. Z. 1897, „Die Fernsprechleitungen zwischen den Städten Großbritanniens."

**) Wietlisbach, „Handbuch der Telephonie", S. 249.

der elektrostatischen Kapazität zweier Drähte vom Radius r in der Entfernung d voneinander und in der Entfernung h von der Erde ist

$$C = \frac{0{,}02414 \log \frac{2h}{r}}{\log \frac{2h\sqrt{(2h)^2 + d^2}}{d \cdot r} \cdot \log \frac{d}{r} \cdot \frac{2h}{\sqrt{(2h)^2 + d^2}}} \text{ Mf pro km},$$

falls eine der beiden Leitungen an Erde gelegt ist. Über die vereinigten Wirkungen von elektromagnetischer und elektrostatischer Induktion

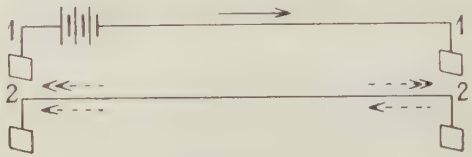


Fig. 109.

einer Einzelleitung auf eine andere einfache Leitung und auf eine ausbalanzierte Doppelleitung siehe Gavey E. T. Z. 1897 (vergl. auch Fig. 109 und Fig. 110). Der durch elektromagnetische Induktion in Lei-

Fig. 110.
Schleife 2 hat bei $E^1 E^1$ Isolationsfehler (falsche Erde).

tung 2 beim Schließen des Stromkreises 1 hervorgerufene Strom ist durch punktierte Pfeile mit einer Spitze, der durch elektrostatische Induktion hervorgerufene Strom durch Pfeile mit zwei Spitzen angedeutet. Diese Ströme summieren sich am einen Ende der induzierten Leitung, während sie sich am anderen Ende teilweise aufheben.

Wie aus dem Vorhergehenden hervorgeht, hängt die Größe der störenden Induktionswirkung einer Leitung auf die andere wesentlich ab: 1. von der Größe und von der Änderungsgeschwindigkeit der Stärke, Spannung und Richtung der induzierenden Ströme; 2. von der Länge, auf welcher die Leitungen nebeneinander herlaufen, sowie bei nichtparallelen Leitungen von dem Winkel, den die Richtungen der beiden Leitungen miteinander bilden; 3. von dem Abstand der Lei-

tungen (sowohl die gegenseitige elektromagnetische als auch die elektrostatische Induktion benachbarter Einzelleitungen fallen um so geringer aus, je größer der Abstand der Leitungen gewählt wird); 4. von der örtlichen Lage der Leitung, z. B. an demselben Gestänge oder an verschiedenen Gestängen, Lage der einen Leitung gegen die andere usw.*)

An Telegraphenapparaten sind die störenden Beeinflussungen der zugehörigen Leitungen durch Nachbarleitungen in der Regel nicht bemerkbar, weil erstere genügend unempfindlich sind, daher werden oberirdische Telegraphenleitungen stets als Einfachleitungen ausgeführt. Bei Telephonleitungen dagegen machen sich diese Einwirkungen sehr lästig durch das sogenannte Mitsprechen bemerkbar, und zwar nimmt die Höhe des Tones bezw. des Geräusches mit wachsender Schnelligkeit der Änderungen von Spannung und Stromstärke zu, während die Stärke der Töne mit zunehmender Stärke des Stromes und Größe der Spannungsunterschiede sowie mit der Länge und Nähe der nebeneinander laufenden Leitungen wächst.**) Bei Verwendung der im Vorhergehenden betrachteten Einfachleitungen kann weder die störende Wirkung des Stromüberganges, noch diejenige der Induktion in genügender Weise behoben werden, es sei denn, daß eine hinreichende Auseinanderlegung der Leitungen ausführbar ist.

In allen anderen Fällen läßt sich eine Verringerung der Störung nur dadurch erzielen, daß wenigstens eine der beiden Leitungen als Doppelleitung hergestellt wird, wobei man es dann nur noch mit Differenzwirkungen zu tun hat.

c) Doppelleitung und Einzelleitung.

Für den gegenseitigen Induktionskoeffizienten einer Doppelleitung und einer Einzelleitung mit der Erde als Rückleitung gilt die Formel

$$M_{ab-A} = 4{,}6 \cdot \log \frac{d_2}{d_1} \cdot 10^{-4} \text{ Henry},$$

wenn d_1 und d_2 die Abstände der Einzelleitung A von der Doppelleitung a b bedeuten; die Formel gilt pro km Länge der parallel laufenden Leitungen, s. Fig. 111.

Ist die störende Leitung eine Doppelleitung und die gestörte Leitung eine einfache Leitung, so erzeugen die beiden Zweige

*) Strecker, „Schutz der Fernsprechleitungen gegen Induktion", E. T. Z. 1892.

**) Vgl. „Handbuch der Elektrotechnik von Heinke, XII. Band, Telegraphie und Telephonie."

der ersteren bei gleicher Entfernung und symmetrischer Lage in bezug auf den induzierten Draht in letzterem Ströme von gleicher, aber entgegengesetzter Richtung sowohl infolge der elektrodynamischen als auch der elektrostatischen Induktion, welche sich daher aufheben. Auch die Stützenladung kann bei Verwendung einer Doppelleitung beseitigt werden, aber nur dadurch, daß für Hin- und Rückleitung eine gemeinschaftliche Isolatorstütze benutzt wird, was natürlich nur bei Verwendung isolierter Drähte (z. B. Hackethaldraht, s. S. 159) möglich ist. In allen anderen Fällen kann ihre Wirkung nach außen auf benachbarte Leitungen und ebenso auch der Stromübergang selbst dadurch eliminiert werden, daß man die beiden Stützen der Doppelleitung miteinander leitend verbindet, z. B. durch Verwendung einer eisernen Konsole oder von Doppelstützen. In diesem Falle wird den

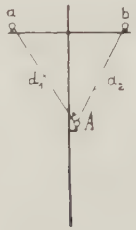


Fig. 111.

Fig. 112.

beiden gleich großen, aber entgegengesetzt gerichteten Ladungen die Möglichkeit gegeben, sich auszugleichen, so daß eine Wirkung nach außen nicht eintritt, und ebenso werden bei gleichem Isolationswiderstand der Isolatoren gleich große, aber entgegengesetzt gerichtete Übergangsströme von beiden Drähten zu den Stützen abgeleitet, wo sie sich aufheben. Ist die gestörte Leitung eine Doppelleitung, die störende eine Einfachleitung, so macht man die Wirkung des Stromübergangs ebenfalls durch Verwendung von Doppelstützen oder durch leitende Verbindung der einzelnen eisernen Stützen unschädlich; denn hierdurch erhalten die Stützen gleiches Potential, und haben die die beiden Zweige der Schleife durchziehenden Übergangsströme gleiche Stärke und Richtung und heben sich in bezug auf die in den Scheiteln der Leitungen liegenden Apparate auf. Um die Induktionswirkungen der Einzelleitungen auf die Doppelleitungen aufzuheben, sind die beiden Schleifendrähte auf derselben Potentialniveaufläche der Einzelleitung

anzuordnen, also die Stützpunkte auf dem Bogen eines beliebigen, aber für alle Stützpunkte gleich groß zu wählenden Kreises zu legen, dessen Mittelpunkt auf der Achse der induzierenden Leitung liegt*) (Fig. 112).

In diesem Falle werden in beiden Drähten der induzierten Schleife Ströme von gleicher Richtung und Intensität induziert, welche am Ende der Leitung zusammenstoßen und sich gegenseitig aufheben.

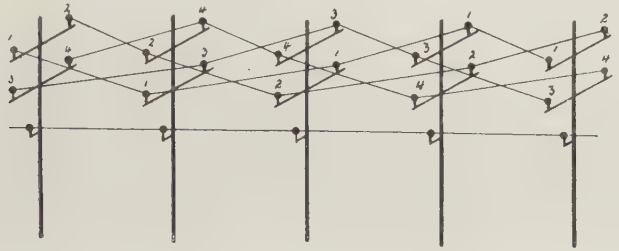


Fig. 113.

Beide Zweige der Doppelleitung sind möglichst nahe nebeneinander und zu der Einfachleitung möglichst parallel zu führen. Kreuzungen sollen auf dem kürzesten Weg, also, wenn irgend angängig, senkrecht zur Richtungslinie der Einzelleitung erfolgen. Wichtiger als die genau gleiche Entfernung der Drähte voneinander ist die möglichst gleichmäßige Isolation der Leitung; denn ist der eine Draht schlechter iso-

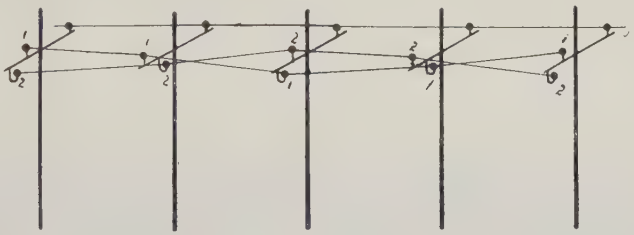


Fig. 114.

liert als der andere, so wird dadurch der in demselben verlaufende Induktionsstrom durch Ableitung zur Erde geschwächt und ist dann nicht mehr imstande, den im gut isolierten Draht erzeugten Induktionsstrom aufzuheben. Im allgemeinen werden jetzt Fernsprechleitungen wegen der in Telegraphenleitungen auftretenden Extraströme getrennt von letzteren an besonderen Gestängen geführt. Werden gemeinschaftliche Gestänge benutzt, so wird man stets die Telephon-

*) Vgl. Gansauge, E. T. Z. 1892.

leitung als Doppelleitung ausführen und diese so gruppieren, daß der Einfluß der Telegraphenleitung ein Minimum wird. Zu dem Zweck führt man die Schleifen derart, daß sie in je vier Stangenintervallen einen ganzen Schraubengang bilden, so daß also die Lage der Drähte sich bei jeder Stange um 90° gegenüber der vorhergehenden ändert; das Prinzip der Verseilung oder Umeinanderwindung siehe Fig. 113 und 114. Hierdurch wird die durchschnittliche Entfernung eines jeden der beiden Drähte von dem dritten Draht für jeden vollständigen Schraubengang die gleiche und es werden also auch die in den Schleifendrähten induzierten elektromotorischen Kräfte gleich groß und ihre algebraische Summe = 0. Ändert sich die Zahl der Signal- oder Telegraphenleitungen an dem gemeinschaftlichen Gestänge an verschiedenen Punkten, so ist an allen diesen Punkten sowie in der Mitte zwischen je zwei der letzteren eine Kreuzung vorzunehmen. Verläßt die Telephonleitung das gemeinschaftliche Gestänge, so muß sie bis zum Ende der Strecke als Doppelleitung weitergeführt werden, da sonst das elektrische Gleichgewicht der Linie gestört würde. Die Apparate einer solchen Fernsprechlinie sind aus demselben Grunde stets parallel und nicht in Serie zu schalten. Für mehrere Telephonleitungen kann unter Umständen eine gemeinsame Rückleitung aus stärkerem Draht benutzt werden.

d) Mehrere Doppelleitungen.

Während sich die Erdgeräusche in einer Telephonleitung nur durch Verzicht auf die Erde als Rückleitung und durch Ersatz der Einzelleitung durch eine Doppelleitung beseitigen lassen, wird das Mitsprechen durch diese Maßregel meist nur geschwächt, aber nicht aufgehoben.*) Für den gegenseitigen Induktionskoeffizienten zweier Doppelleitungen (Fig. 115) gilt pro km Länge die Formel

$$M_{1a1b-2a2b} = 4{,}6 \cdot \log \cdot \frac{d_1 \cdot d_4}{d_2 \cdot d_3} \cdot 10^{-4} \text{ Henry.}$$

Zur Beseitigung des Mitsprechens wird eine Reihe besonderer Anordnungen zur Anwendung gebracht, z. B. Führung der Doppelleitungen in Schraubenwindungen umeinander, wie oben beschrieben; diese Anordnung ist brauchbar bei nicht mehr als zwei Doppelleitungen und bei vorzüglicher Isolation. Um Leitungsstörungen, deren Aufsuchung dadurch, daß die Leitungen sich zwischen den einzelnen

*) Vgl. Salzer, E. T. Z. 1903, S. 885, „Schaltung zur Sicherung des Gesprächsgeheimnisses."

Stangen kreuzen, erschwert wird, zu vermeiden, müssen die Abstände der Drähte voneinander sehr groß genommen werden. 1885 empfahl Münch, die Drähte parallel zu führen und die Zweige einer und derselben Schleife in gewissen, einander gleichen Intervallen zu kreuzen. Bei guter Isolation würde es, um zwei Schleifen von gegenseitiger Induktion frei zu halten, theoretisch nur erforderlich sein, eine derselben genau in der Mitte zu kreuzen. Mit Rücksicht auf die Unvollkommenheit der Isolation und auf die Ungleichheit der Abstände bei Straßenbiegungen und der Durchhänge werden die Kreuzungen in gewissen Intervallen wiederholt. Unter normalen Verhältnissen genügt eine Kreuzung alle 2—3 km; unter ungünstigen Verhältnissen dagegen

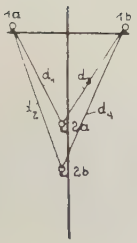


Fig. 115.

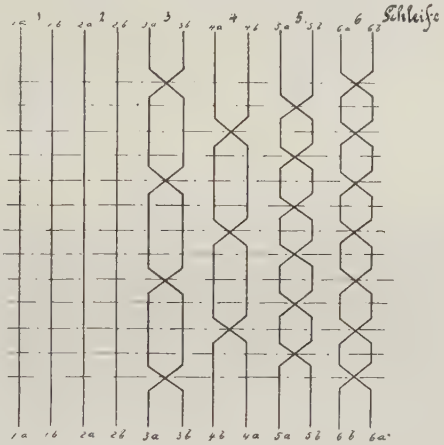


Fig. 116.

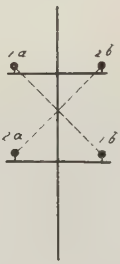


Fig. 117.

ist es nötig, die Drähte an jeder Stange zu kreuzen. Soll eine dritte, vierte, usw. Schleifenleitung angebracht werden, so sind die Kreuzungspunkte so zu wählen, daß jeder induzierenden Leitungsstrecke einer Schleife ein gleich langes, in seiner Mitte gekreuztes Schleifenstück gegenübersteht (Fig. 116, dritte bis sechste Schleife). Die zweite Schleife braucht nicht gekreuzt zu werden wenn man Schleife 1 und 2 so verlegt, daß ihre Ebenen aufeinander senkrecht stehen und sich halbieren (Fig. 117); in diesem Falle sind, wie weiter unten gezeigt werden soll, die beiden Stromkreise für alle Entfernungen ausbalanziert, gleichgültig, ob die Drähte parallel laufen oder ob die Schleifen um die Mittelachse des Quadrats gedreht oder gewunden sind. Hat man es nun mit einer großen Anzahl von Schleifen zu tun, die an demselben Gestänge geführt werden sollen, so kann man unter Benutzung der

oben geschilderten Anordnung die zwei Schleifen des ersten Quadrates parallel durchführen (Fig. 118). Die zwei Schleifen des zweiten Quadrats sind dann in regelmäßigen Abständen, z. B. alle 8 km, zu kreuzen; für die dritte Gruppe geschieht das gleiche in Zwischenräumen von ebenfalls 8 km, jedoch so, daß die Kreuzungsstellen in

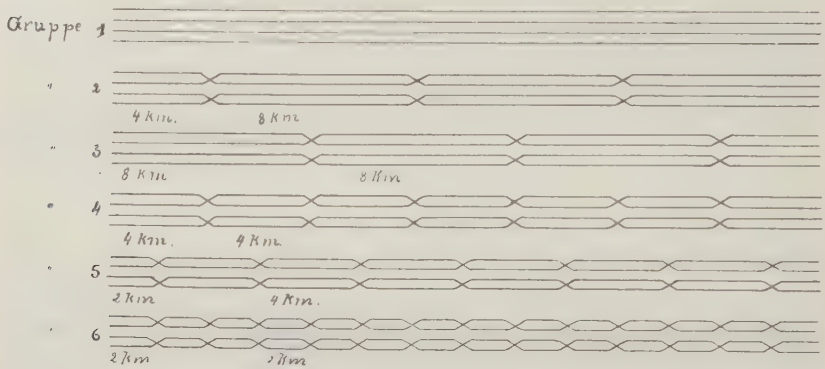


Fig. 118.

der Mitte zwischen zwei Kreuzungsstellen des zweiten Quadrats liegen. Für die vierte Gruppe von zwei Schleifen betragen die Zwischenräume je 4 km und so fort. Fig. 119 stellt eine in Amerika vielfach verwendete Anordnung von 10 Schleifen dar, welche zu je 5 an zwei

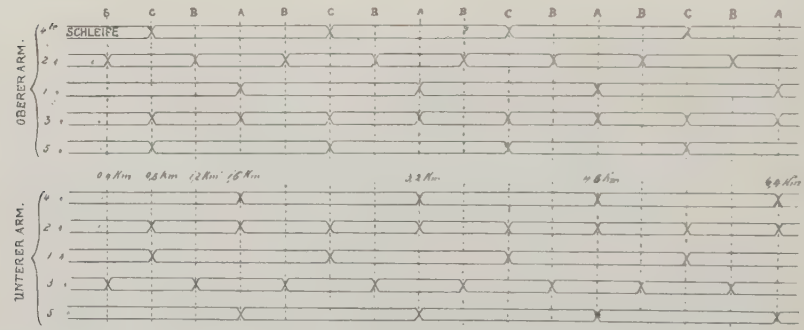


Fig. 119.

auf einem Maste angebrachten Querarmen montiert sind. Um die Kreuzungen bequem vornehmen zu können, benutzt man entweder an dem betreffenden Mast einen Satz doppelter Isolatoren oder (in Amerika) sogenannte Doppeltranspositionsisolatoren (Fig. 120). Diese Münchsche Methode ist übersichtlich, da die Leitungen ohne Kreuzungen in

den Feldern verlaufen, aber die vielen Kreuzungen am Gestänge sind etwas unbequem; trotzdem hat diese Methode große Anwendung gefunden.

Christiani stellte 1891 folgende Bedingungsgleichung*) für induktionsfreie Anordnung von zwei Doppelleitungen auf: $d_1 \cdot d_4 = d_2 \cdot d_3$ (Fig. 121). Diese Gleichung geht aus der Gleichung für den gegenseitigen Induktionskoeffizienten zweier Doppelleitungen für $M = 0$

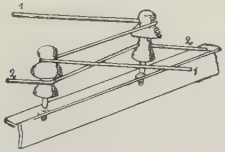


Fig. 120.

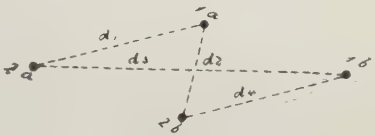


Fig. 121.

hervor und besagt: Zwischen zwei parallelen Schleifen (1a, 1b und 2a, 2b) ist die Induktion dann Null, wenn die Produkte aus den Abständen der in gleichem Sinne aufeinander wirkenden Drähte einander gleich sind. Dieser Satz gilt aber nicht nur für elektromagnetische Induktion, sondern es tritt auch bei Erfüllung der in ihm enthaltenen Bedingung keine elektrostatische Induktion auf.**) Denn die Zweige einer

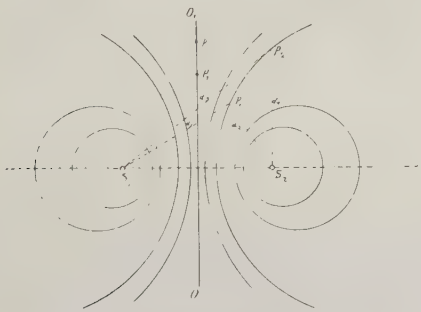


Fig. 122.

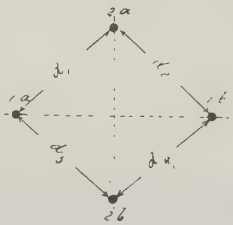


Fig. 123.

Doppelleitung, welche dieser Bedingung genügen, liegen auf einem Kreise gleichen Potentials in bezug auf die zweite Schleife. In bezug auf eine Schleife, z. B. S_1 S_2 (Fig. 122) gibt es unendlich viele Lagen der zweiten Schleife P_1 P_2, für welche die Schutzbedingung erfüllt ist. Die günstigste Lage ist diejenige, für welche $d_1 = d_2 = d_3 = d_4$ (Fig. 123). In diesem Falle liegt jede der beiden Schleifen in einer

*) Siehe E. T. Z. 1891.

**) Grawinkel, E. T. Z. 1891.

Ebene mit dem Potential $V = 0$ in bezug auf die andere Schleife. Hat man es mit drei Doppelleitungen zu tun, so muß die Lage der dritten Schleife so gewählt werden, daß sie in bezug auf die beiden anderen Schleifen der Christianischen Bedingungsgleichung genügt (Fig. 124 und 125). Eine nach obigen Gesichtspunkten durchgeführte Konstruktion führt jedoch zu unsymmetrischen Anordnungen und hat daher nur wenig Verwendung gefunden, auch läßt sich eine vierte induktionsfreie Doppelleitung, welche der Gleichung $d_1 . d_4 = d_2 . d_3$ genügt, nicht bestimmen.

Das Erfordernis einer symmetrischen Gruppierung der Leitung an dem Gestänge bringt es mit sich, daß die Leiterpaare in parallelen

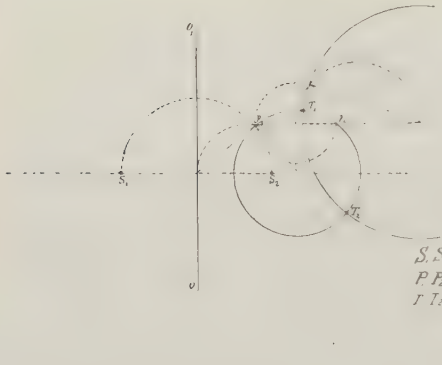


Fig. 124.

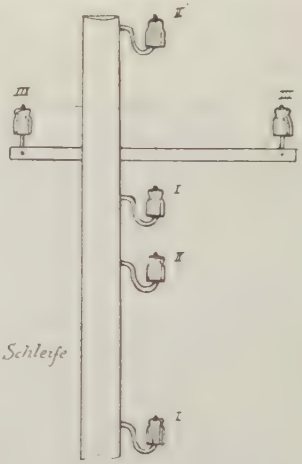


Fig. 125.

oder einander rechtwinklig kreuzenden Ebenen angeordnet werden müssen. Auch ist der Abstand der beiden Drähte jeder Schleife, die Schleifenbreite, für alle an demselben Gestänge zu befestigenden Doppelleitungen gleich groß zu wählen, da alle anderen Annahmen zu unregelmäßigen und für die Praxis unzweckmäßigen Konstruktionen führen. Christiani gibt unter Beachtung dieser Regeln folgende Anordnung an*):

I. Die Schleifenebenen sind untereinander parallel und senkrecht zur Stangenachse angeordnet; dann lassen sich bei Betrachtung von zwei Doppelleitungen folgende drei Fälle unterscheiden (Fig. 126): a) Alle Drähte liegen in der gleichen horizontalen Ebene; b) die Schleifen begrenzen zwei gegenüberliegende Seiten des Rechtecks; c) sie neh-

*) Vgl. E. T. Z. 1891, „Über induktionsfreie Doppelleitungen."

men eine zueinander verschobene Stellung ein, entsprechend zwei gegenüberliegenden Seiten eines schiefwinkligen Parallelogrammes. Von diesen drei Fällen gibt nur der dritte eine praktisch brauchbare Anordnung. Für alle drei Fälle gilt: $m^2 = s^2 + k^2$ (Fig. 126); unter Benutzung der Werte für die Längen o und p ergibt sich $k = \sqrt{s^2 - w^2}$.

Ist $\begin{cases} w = 20 \text{ cm} \\ w = 10 \text{ cm} \end{cases}$ und $\begin{matrix} s = 65 \text{ cm} \\ s = 55 \text{ cm} \end{matrix}$, dann ist $\begin{matrix} k = 63{,}4 \text{ cm} \\ k = 54{,}5 \text{ cm} \end{matrix}$.

Bei dieser Anordnung, welche in Deutschland bei einer Reihe von Fernsprechlinien unter Verwendung von eisernen Doppelstützen mit gutem Erfolg benutzt ist (Fig. 127), stellt der noch vorhandene Rest der Induktion von Schleife I auf Schleife III (I und II sind induktionsfrei) nach Christiani auf 100 km Leitungslänge noch nicht

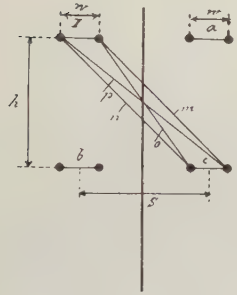


Fig. 126.

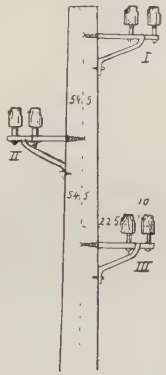


Fig. 127.

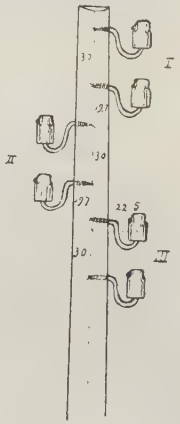


Fig. 128.

0,08 % derjenigen Induktion dar, welche zwischen zwei einfachen, im mittleren Abstand von 2 k = 109 cm (Fig. 127) ausgespannten Leitungen bestehen würde. Diese Restwirkung ist zu vernachlässigen, und daher kann diese Anordnung einer Fernsprechverbindungslinie mit Doppelstützen vom Standpunkt des praktischen Betriebes aus als ausreichend bezeichnet werden.

II. Die vertikale Anordnung der zugehörigen Leitungen übereinander (Fig. 128) gibt keine so praktische Lösung, weil sich hier die Schleifenbreite nicht so verringern läßt wie bei Anordnung I; infolgedessen ist hier die Induktionswirkung der Schleife I auf III eine größere.

III. Viel vorteilhafter ist es, die Anordnung so zu treffen, daß die Ebene jeder folgenden Schleife auf derjenigen der vorhergehenden senkrecht steht und

letztere halbiert. Dann ist die Induktion zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Schleifen vollständig aufgehoben, während sie zwischen den parallelen Schleifen auf ein verschwindendes Maß herabgemindert ist. Am günstigsten ist es, hierbei die Schleifenebene unter 45° gegen die Stangenachse zu neigen (Fig. 129). Der Abstand zweier Doppelstützen beträgt 50 cm. Die Anordnung nach Fig. 129 entspricht für je drei Schleifen der oben aufgestellten Bedingungsgleichung $d_1 . d_4 = d_2 . d_3$, wenn die Drähte der Schleife III auf der Mantelfläche eines äquipotentiellen Zylinders in bezug auf Schleife I liegen, während die durch die Schleife I und II gelegten Ebenen aufeinander senkrecht stehen, die Schleifen-

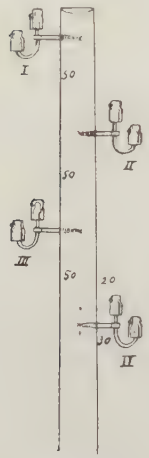


Fig. 129.

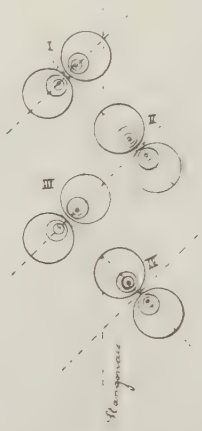


Fig. 130.

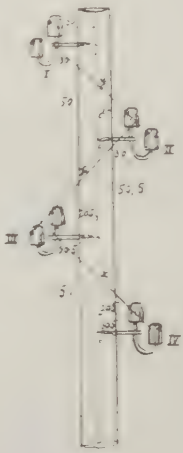


Fig. 131.

ebene II die Schleifenebene I halbiert und ferner Schleife III zu Schleife II genau so angeordnet ist wie II zu I. Diesen Bedingungen wird in der Anordnung nach Fig. 129 (für welche in Fig. 130 die zu den Schleifen gehörigen nächsten Äquipotentialkreise gezeichnet sind) in bezug auf Schleife I und III nur annähernd entsprochen. Ihre gegenseitige Lage ist also nur angenähert induktionsfrei. Um vollkommene Induktionsfreiheit zu erreichen, muß man nach Christiani die mittlere Entfernung von Schleife zu Schleife bei den gewählten Verhältnissen um 7 mm wachsen lassen, was einer Vergrößerung der Abstände in horizontaler und vertikaler Richtung um je 5 mm gleichkommt (Fig. 131). Hier kommt uns die Natur durch die konische Bildung der Stangen auf halbem Wege entgegen. Um die Wirkung der Ungleichheiten in bezug auf Durchhang, Abstand usw. zu elimi-

nieren, werden die Doppelleitungen zweckmäßig in gleichen Abständen gekreuzt. Die Reichspostverwaltung errichtet für Fernsprechverbindungslinien grundsätzlich besondere Gestänge und belastete dieselben anfangs nur mit zwei, in rechtwinklig einander kreuzenden Ebenen angeordneten Schleifenleitungen (Fig. 132). In Dänemark hat die Anordnung nach Fig. 117 und 133 Verwendung gefunden. Die durch Stromübergang und Stützenladung bedingten Störungen sind allerdings bei dieser Anordnung nicht beseitigt, dieselben sind jedoch, wie die Praxis erwiesen hat, bei guter Isolation und symmetrischer Anordnung der Leitung zu vernachlässigen.

Die intensive Entwickelung des Telegraphennetzes sowohl als auch der Fernsprecheinrichtungen hatte zur Folge, daß bald mit

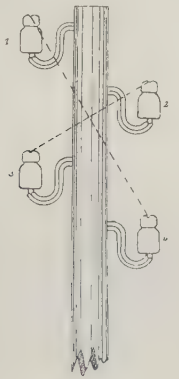


Fig. 132.

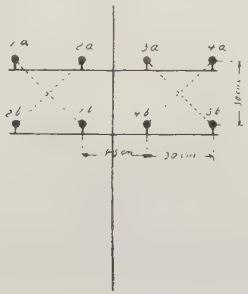


Fig. 133.

dem Prinzipe, stets nur zwei Doppelleitungen an einem Gestänge zu führen, gebrochen werden mußte. Es wurde daher seit 1891 die oben beschriebene Anordnung mit Doppelstützen verwendet (Fig. 127), bei welcher man die Zahl der Schleifenleitungen bis zu einer, nur durch die Höhe des Gestänges und durch die Tragfähigkeit desselben begrenzten Anzahl vergrößern konnte. Bei dieser Anordnung wurde infolge der Verwendung von Doppelstützen auch die Wirkung des Stromübergangs und der Stützenladung beseitigt. 1895 stellte Münch folgende Regel auf: 1. Schleifenleitungen, auf gemeinsamen Stützen zu zwei Leitungen gelagert, sind induktionsfrei für alle in der Praxis vorkommenden Entfernungen, wenn die Abstände der Stützen 50 cm (oder mehr) betragen. 2. Auf solchen gemeinsamen Stützen angebrachte Schleifen sind induktionsfrei angeordneten Schleifen gegenüber ebenfalls induktionsfrei, wenn der Ab-

stand der neuen Schleife von der untersten Leitung der unter sich induktionsfrei angeordneten Leitungen 50 cm beträgt. 3. Der Abstand der Stützen bezw. der Schleifenleitungen untereinander kann verringert werden, wenn sich an dem Gestänge eine größere Anzahl von Leitungen befindet.*) Die induktiven Verhältnisse gestalten sich nämlich in diesem Falle günstiger als bei Vorhandensein von z. B. nur zwei Schleifenleitungen, weil sich die durch die Einzelleitungen hervorgerufenen Induktionsströme zum Teil vernichten. In Bayern werden die Fernsprechleitungen nicht auf Doppelstützen, sondern auf, für eine Anzahl Doppelleitungen gemeinsamen, eisernen Querträgern verlegt, nach Fig. 108. Die beiden ersten Schleifen 1 a, 1 b und 2 a, 2 b nehmen die oben besprochene induktionsfreie Lage in den Endpunkten eines Quadrats ein, und die übrigen, unter Umständen später hinzukommenden Schleifen, werden um diese ersten beiden gruppiert und nach Fig. 116 gekreuzt.

Da in einem mit Widerstand, Induktion und Kapazität behafteten Stromkreis die Wirkungen der Selbstinduktion und Kapazität sich vollkommen aufheben, wenn der Bedingung genügt wird, daß $C = \frac{1}{\omega^2 L}$, so ist von verschiedenen Seiten (Stanley und Kelley)**) vorgeschlagen worden, in Telephonleitungen zwischen dem Empfänger und der Leitung eine Selbstinduktionsspule und einen Kondensator einzuschalten, deren Dimensionen so gewählt werden, daß obige Bedingung erfüllt wird. Dieser Vorschlag scheint jedoch nur versuchsweise ausgeführt worden zu sein. In den letzteren Jahren sind von verschiedenen Seiten sowohl für oberirdische Leitungen als für Kabel Vorschläge gemacht worden, um den Leitungsverlust einerseits auf ein Minimum zu reduzieren, andererseits die Verzerrung oder Verzögerung der Laute, welche namentlich bei höheren Schwingungszahlen sehr störend ist, zu vermindern. Beides wird erreicht durch eine Erhöhung der Induktanz der Linie.***) Ist die Induktanz sehr groß im Verhältnis zum Widerstand der Linie, so wird die Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Wellen und deren Verzögerung ganz unabhängig von der Schwingungszahl. Zur Erhöhung der Induktanz schaltet Pupin eine Reihe von Induktionsspulen (Fig. 88) in Serie mit der Leitung, während S. P. Thompson eine Anzahl Induktionsspulen und Widerstände parallel schaltet. C. Reed

*) Vgl. Archiv für Post und Telegraphie 1896: „Über Induktionserscheinungen in Telegraphen- und Fernsprechleitungen".

**) Vgl. Electrical Engineer 1891.

***) Vgl. Roeber, El. World and Engineer 1901. I. Teil.

dagegen teilt den ganzen Stromkreis in eine Reihe von Teilen, die untereinander durch Transformatoren verbunden werden, so daß ein System von Induktanzen, Widerständen und Kapazitäten erhalten wird. Nach dem Pupinschen System, welches sich in der Praxis vorzüglich bewährte und eine vier- bis fünffache Lautverstärkung ermöglicht bezw. eine vier- bis fünffach größere Entfernung bei gleicher Güte des telephonischen Gespräches zu überwinden gestattet als der normalen Schaltung entspricht*), sind neuerdings Fernsprechleitungen zwischen Berlin und Frankfurt a. M. umgebaut worden.

B. Gegenseitiger Abstand der Drähte und Anordnung derselben mit Rücksicht auf Störungsfreiheit in der Starkstromtechnik.

In der Starkstromtechnik haben wir es, im Gegensatz zur Schwachstromtechnik, mit erheblichen Stromstärken und Spannungen, dagegen mit verhältnismäßig geringen Periodenzahlen und meist auch mit geringeren Längen zu tun. Es spielt hier der induktive Spannungsabfall, herrührend von der elektromagnetischen Induktion der Leitungen, eine wichtige Rolle, während der Einfluß der Kapazität bei Freileitungen, abgesehen von demjenigen auf die Größe des Energieverlustes bei sehr langen Leitungen und von den durch Kapazität ermöglichten Resonanzerscheinungen (vergl. S. 149 u. ff.), ebensowie der Einfluß der Ableitung bei richtiger Wahl der Isolatortype, meist zu vernachlässigen ist.**)

I. Elektromagnetische Induktion.

a) Das Einphasensystem.

Für den Selbstinduktionskoeffizienten L eines Drahtes von der Länge l und dem Radius r gilt die Formel

$$L = 2\,l\,(\text{lognat}\,\frac{2\,l}{r} - 0{,}75)\,.\,10^{-9}\ \text{Henry}\,,$$

*) Vgl. Dolezalek und Ebeling, E. T. Z. 1902, S. 1059.

**) Über die Berechnung von Leitungen unter Berücksichtigung von Widerstand, Induktion, Kapazität und Ableitung vgl. Steinmetz, „Theorie und Berechnung der Wechselstromerscheinungen“ 1900. Ferner W. Startsman, „Theory and Calculation of Alt. Curr. Transmission Lines“, El. Review, Dec. 1901 u. Kenelly, El. World, Vol. XXXI.

für den Koeffizienten der gegenseitigen Induktion M die Formel

$$M = 2\,l\,(\text{lognat}\,\frac{2\,l}{d} - 1)\,.\,10^{-9}\ \text{Henry}\,.$$

d = Abstand der beiden betrachteten Leitungen. Aus diesen beiden Formeln ergibt sich als Wert für den Koeffizienten der resultierenden Induktion oder Induktanz für jede Leitung:

$$L = L - M = 2\,l\,(\text{lognat}\,\frac{d}{r} + 0{,}25)\,.\,10^{-9}\ \text{Henry}$$

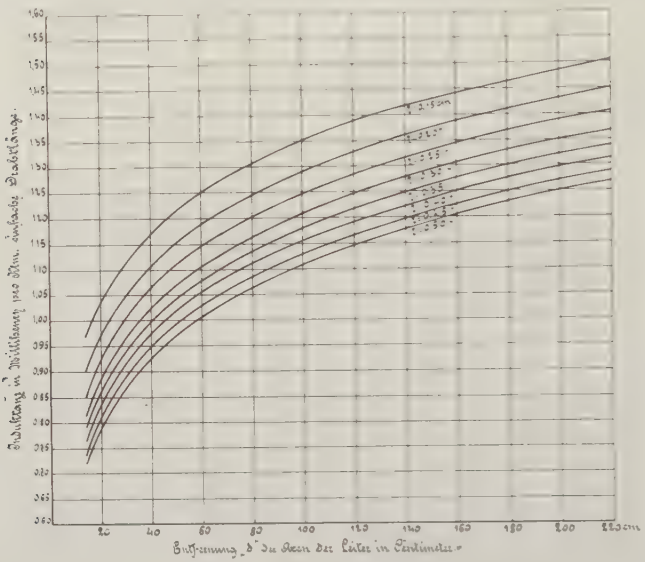


Fig. 134.

und für eine Hin- und Rückleitung:

$$L = 2\,(L - M) = 4\,l\,.\,(\text{lognat}\,\frac{d}{r} + 0{,}25)\,.\,10^{-9}\ \text{Henry}$$

oder bei Verwendung Briggscher Logarithmen:

$$L = l\,(9{,}21\,\log\,\frac{d}{r} + 1)\,.\,10^{-9}\ \text{Henry}\,,$$

bezw. wenn l in Kilometer:

$$L = l\,(9{,}21\,\log\,\frac{d}{r} + 1)\,.\,10^{-4}\ \text{Henry}\,.$$

Die Selbstinduktion einer Leitung wird also durch die gegenseitige Induktion zwischen dieser und ihrer Rückleitung verringert. Beispiel: Ist l = 100 km = 10^7 cm; d = 80 cm; r = 0,4 cm, so ist für jede

Leitung: L = 0,338 Henry; M = 0,228 H. Also für Hin- und Rückleitung: $L = 2$ (L—M) = 0,22 H. Der reaktive Spannungsabfall ist:

$$E_L = 2\pi . n . L . i \text{ Volt, oder } E_L = R . i,$$

wo $R = 2\pi n L$, die magnetische Reaktanz in Ohm darstellt. Aus den Induktanzkurven Fig. 134 können die Werte von L für verschiedene Werte von d und r in Millihenry pro km einfache Drahtlänge entnommen werden, wobei diese Werte bei Einphasenleitungen mit zwei (Hin- und Rückleitung) multipliziert werden

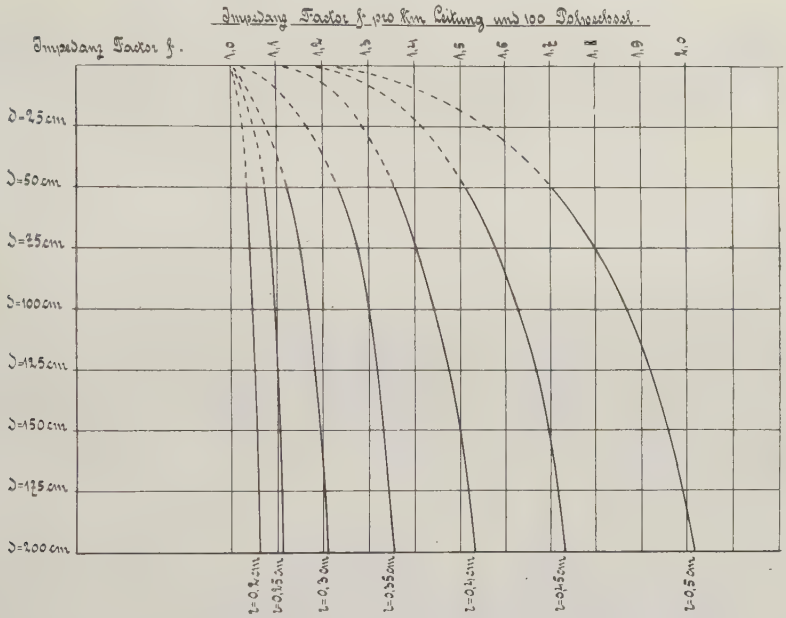


Fig. 135.

müssen, während Fig. 135 den Impedanzfaktor f für verschiedene Werte von d und r pro km Drahtleitung und für 100 Polwechsel angibt. Mit diesem Faktor ist der sich nach der Formel $W = \frac{l}{k . q}$ pro km ergebende Ohmsche Widerstand zu multiplizieren, um den scheinbaren Widerstand Z, die Impedanz der Leitung, zu erhalten. Es ist also:

$$Z = f . W = \sqrt{W^2 + (2\pi n L)^2} .$$

Für d = 80 cm und r = 0,4 cm findet sich für f in Fig. 135 ein Wert f = 1,41 pro km, denn für obige Annahme ist W = 0,35 Ω

pro km und $2\pi n L = 0{,}3501\ \Omega$, weil L nach Fig. 134 = 0,00112 Henry also ergibt sich $Z = \sqrt{W^2 + (2\pi n L)^2} = 0{,}493\ \Omega = 1{,}41 \cdot 0{,}35\ \Omega =$ f. W.

Der induktive Spannungsabfall, der proportional der Periodenzahl, der Stromstärke und dem Koeffizienten der resultierenden Induktion L ist, wird also dann relativ klein ausfallen, wenn man eine bestimmte zu liefernde Energiemenge mit möglichst kleiner Stromstärke, also mit möglichst hoher Spannung, überträgt. Allerdings wird dann, gleichen Wattverlust in der Leitung vorausgesetzt, der Radius des Leitungsdrahtes kleiner werden und mit Verkleinerung des Radius, wie die Formel für L lehrt, der resultierende Induktionskoeffizient L wachsen. Ebenso wird eine Vergröberung der Spannung eine Vergrößerung des Abstandes d der Drähte voneinander bedingen, was ebenfalls auf Vergrößerung von L hinwirkt. Doch nimmt die Reaktanz, weil $\frac{d}{r}$ logarithmisch eingeht, viel langsamer zu, als die Stromstärke infolge erhöhter Betriebsspannung abnimmt. Deshalb ist es, ganz abgesehen von dem Vorteil des kleineren Kupfergewichts, mit Rücksicht auf einen kleineren induktiven Spannungsabfall stets vorteilhaft, die Betriebsspannung möglichst hoch zu wählen. Dagegen sollte aus dem gleichem Grunde die Periodenzahl n möglichst niedrig gewählt werden. Die vorteilhafteste Größe derselben hängt ab von der Art der Verwendung der zu übertragenden Energie. Bei reinem Motoren- oder Umformerbetrieb ist die Periodenzahl zweckmäßigerweise klein zu nehmen, und zwar nach den Verbandsnormalien deutscher Elektrotechniker zu n = 25. Für Lichtbetrieb und für gemischten Betrieb dagegen ist n = 42 die unterste Grenze und entspricht n = 50 den Verbandsnormalien. Während der Ohmsche Spannungsverlust i . W mit der Richtung des Stromes zusammenfällt, steht die reaktive Gegenspannung i . R senkrecht hierzu, und zwar eilt sie dem Strom um $90^0 = 1/4$ Periode nach und es ist also zu ihrer Überwindung eine elektromotorische Kraft aufzuwenden, welche um 90^0 dem Strome voreilt. Da die elektromotorische Kraft der Reaktanz 90^0 gegen den Strom verschoben ist, so verursacht sie im Gegensatz zum Ohmschen Spannungsabfall, der mit dem Strom zusammenfällt, keinen Energieverlust, sondern bewirkt nur eine Phasenverschiebung bezw. eine Veränderung und zwar meist Vergrößerung der Phasenverschiebung des Stromes gegen die Spannung.

Um nun aus der sekundären Spannung E_{sec} und dem Ohmschen und dem reaktiven Spannungsabfall i . W und i . R die primäre Spannung E_{pr} zu erhalten, verfährt man am besten graphisch nach

Fig. 136 wie folgt: An die Grade $\overline{OA} = E_{sec}$ wird im Punkte A eine Parallele zur Stromrichtung, welch letztere mit der Spannung E_{sec} einen beliebigen gegebenen Phasenverschiebungswinkel φ_{sec} einschließt, gezogen. In der Richtung der so erhaltenen Graden trägt man den Ohmschen Spannungsabfall $i \cdot W = AB$ auf; senkrecht hierzu steht der reaktive Spannungsabfall $i \cdot R = 2\pi n \cdot L \cdot i$, zu dessen Überwindung eine elektromotorische Kraft erforderlich ist, welche als Länge $\overline{BC}$ im Punkte B aufgetragen wird, und zwar im Sinne der Voreilung. Die Strecke $\overline{AC}$ repräsentiert dann den scheinbaren Spannungsverlust $= i \cdot Z$ und die Strecke $\overline{OC}$ stellt die primäre Spannung E_{pr} und der Winkel φ_{pr} die Phasenverschiebung zwischen E_{pr} und i dar. Schlägt man endlich mit $\overline{OA}$ von O aus einen Bogen bis zum Schnittpunkt mit $\overline{OC}$, so erhalten wir in der Strecke $\varepsilon = E_{pr} - E_{sec}$ den wirklichen Spannungsabfall der Linie.

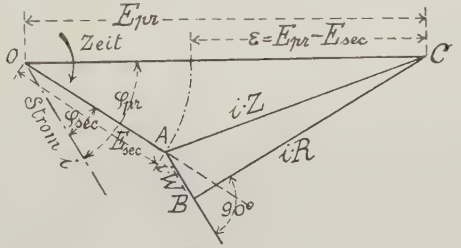


Fig. 136.

Wie aus der Formel für den resultierenden Induktionskoeffizienten hervorgeht, soll der Abstand zwischen Hin- und Rückleitung möglichst klein gewählt werden, soweit es die Betriebssicherheit zuläßt. Der geringste zulässige Abstand zwischen zwei Starkstromfreileitungen ist 40 cm, gebräuchlich bei Anlagen mit 110—500 Volt Spannung zwischen den Drähten und maximal 250 Volt Spannung zwischen Draht und Erde. Bei höheren Spannungen ist 50 cm als unterste Grenze zu betrachten. Dieser Abstand ist bis 5000 Volt zulässig, bei höheren Spannungen nimmt der Abstand ungefähr um je 10 cm für je 5000 Volt zu, also 60 cm bis maximal 10 000 Volt, 70 cm bis maximal 15 000 Volt und so fort. Zur ungefähren Berechnung des zweckmäßigen Abstandes in cm gilt für höhere Spannungen die empirische Formel 15 000 Volt und so fort. Zur ungefähren Berechnung des zweckmäßigen Abstandes in cm gilt für höhere Spannungen die empirische Formel $d = 18 \cdot \sqrt{Kv}$, wo Kv die Betriebsspannung in Kilovolt bedeutet. Vorstehende Angaben beziehen sich auf einen maximalen Mastabstand von 45—50 m.

Ein weiteres und erfolgreiches Mittel, die Reaktanz zu verringern, ist die Unterteilung der Leitungen, da durch dieselbe die Stromstärke pro Leitung vermindert und daher das von derselben erzeugte magnetische Feld verkleinert wird. Eine Unterteilung der Leitung findet bei großen Kraftübertragungsanlagen schon mit Rücksicht auf leichte Verlegung und größere Betriebssicherheit statt. Bei sehr bedeutenden und langen Kraftübertragungen sind die verschiedenen Leitungsgruppen

Fig. 137.

Fig. 138.

Fig. 139.

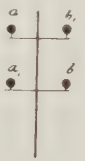


Fig. 140.

Fig. 141.

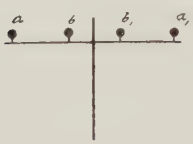



Fig. 142.

Fig. 143.

Fig. 144.

Fig. 145.

Fig. 146.

Fig. 147.

wegen der größeren Sicherheit und ungestörten Reparaturfähigkeit unabhängig voneinander, auf getrennten Mastreihen, zu führen. Die durch die Unterteilung der Leitungen erzielte Verminderung des induktiven Spannungsabfalls ist sehr bedeutend und wird um so beträchtlicher werden, je mehr die Kraftlinien der Teilleitungen einander kompensieren. Die Gruppierung der Leitungen muß alsdann derart erfolgen, daß die resultierende Induktion des ganzen Systems ein Minimum wird. Hin- und Rückleitungen sind möglichst zu mischen. Die Größe des

Spannungsabfalls läßt sich für jede Anordnung genau berechnen. Besteht z. B. eine Einphasenleitung aus vier Leitern, a, b und a_1, b_1, so ergibt sich der resultierende Induktionskoeffizient des Leiters a aus der algebraischen Summe von Selbstinduktionskoeffizient des Leiters a und der gegenseitigen Induktionskoeffizienten der benachbarten Leitungen b, a_1 und b_1 in bezug auf den Leiter a, also: $L_a = L_a - M_b + M_{a1} - M_{b1}$; ebenso $L_b = L_b - M_a + M_{b1} - M_{a1}$ und der resultierende Induktionskoeffizient für das Leiterpaar a b, welche den Strom i führt, ist: $L = L_a + L_b$ welcher in die Formel für den induktiven Spannungsabfall eingesetzt werden muß. Von den verschiedenen, in Fig. 138—146 angegebenen Anordnungen ist diejenige nach Fig. 139 die günstigste. Für eine primäre Leistung von 4000 Kwatt — welche den folgenden Berechnungen, falls nichts anderes gesagt ist, stets zugrunde gelegt ist — entsprechend 140 Amp. Einphasenstrom bei 30 000 Volt und bei cos $\varphi = 0{,}95$, ferner bei einer einfachen Länge der Leitung von 100 km, einer Periodenzahl n = 50, einem Gesamtquerschnitt q = 100 qmm und für einen Abstand zwischen zwei horizontal nebeneinander oder vertikal untereinander liegenden Drähten von d = 80 cm ergeben sich für die verschiedenen Anordnungen nach Fig. 137—146 folgende Werte für den induktiven Spannungsabfall: 1. für ein Leiterpaar mit dem Radius r = 0,565 cm entsprechend q = 100 qmm und bei Anordnung nach Fig. 137 wird E_L = ca. 9150 Volt; 2. für zwei Leiterpaare mit einer Stromstärke von 70 Amp. pro Draht und bei einem Querschnitt von q = 50 qmm, bezw. r = 0,4 cm und bei Anordnung nach Fig. 138 wird E_L = 5185 Volt

„ 139 „ „ = 4575 „
„ 140 „ „ = 5185 „
„ 141 „ „ = 4750 „
„ 142 „ „ = 5005 „
„ 143 „ „ = 4880 „
„ 144 „ „ = 4930 „
„ 145 „ „ = 5030 „
„ 146 „ „ = 4690 „

während sich für eine einzige Doppelleitung q = 50 qmm, i = 40 Amp. und r = 0,4 cm unter sonst gleichen Verhältnissen E_L zu zirka 4880 Volt ergibt. Aus dem Vergleich mit dem Wert für E_L nach Fig. 139 geht hervor, daß bei einer günstigen Anordnung zweier Leiterpaare der induktive Spannungsabfall noch kleiner ausfällt, als wenn nur ein Leiterpaar mit gleicher Stromstärke und gleichem

Querschnitt pro Draht vorhanden wäre. Für unser Beispiel ergibt sich eine Differenz von 4880 — 4575 = 305 Volt zugunsten der Anordnung nach Fig. 139. Bei Anordnung nach Fig. 140 ist die gegenseitige Induktion der beiden Leiterpaare aufeinander gleich Null; dasselbe wird durch eine einmalige Kreuzung eines der beiden Leiterpaare bei Anordnung nach Fig. 138, 139 und 141—146 in der Mitte der Strecke (siehe Fig. 147) erreicht, und es fällt daher die gesamte induktive Wirkung so groß aus, als wenn nur eines der beiden Leiterpaare allein vorhanden wäre, also E_L = 4880 Volt. Diese Werte sind um 305 Volt größer als der Wert des induktiven Spannungsabfalls bei Anordnung nach Fig. 139. Daraus geht hervor, daß es nicht darauf ankommt, eine Anordnung zu wählen, bei welcher die induktive Wirkung der einzelnen Leiterpaare aufeinander gleich Null ist, sondern darauf, die resultierende Induktion als algebraische Summe von

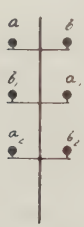



Fig. 148.

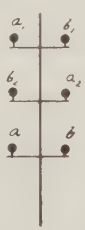


Fig. 149.

Fig. 150.

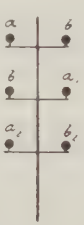



Fig. 151.

Fig. 152.

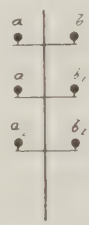



Fig. 153.

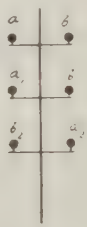



Fig. 154.

Selbstinduktion und gegenseitiger Induktion zu einem Minimum zu machen. Fügt man den beiden Leitungsgruppen in Fig. 139 eine dritte gleiche, am Anfang parallel geschaltete Leitung hinzu nach Fig. 148 und zwar mit gleicher Belastung pro Draht (70 Amp.), so ergibt sich für das Leiterpaar a b eine induzierte Spannung von zirka 4662 Volt; ebenso für a_2 b_2 4662 Volt und für a_1 b_1 zirka 4270 Volt. Durch Teilung der ganzen Strecke in drei gleiche Teile und durch zweimalige Vertauschung der Drähte und der Leiterpaare miteinander in gleichen Abständen nach Fig. 149 und 150 wird die induzierte Spannung für alle drei Leiterpaare gleich und zwar gleich dem arithmetischen Mittel der drei obengenannten Werte = 4530 Volt — ein noch günstigerer Wert als derjenige, welcher der Anordnung nach Fig. 139 entspricht. Eine Aufhebung der gegenseitigen Induktion der drei Leiterpaare aufeinander läßt sich durch eine Anordnung nach Fig. 151—154 erzielen. Gruppe a b bleibt unverdrillt, Gruppe a_1 b_1 wird einmal in der Mitte der Strecke gekreuzt und Gruppe a_2 b_2

dreimal. Die resultierende Induktion wird jedoch hierdurch nicht etwa auch auf 4530 Volt, sondern nur auf 4880 Volt, gleich dem Wert der resultierenden Induktion eines einzelnen Leiterpaares reduziert. Für unser Beispiel (4000 Kw, 30 000 Volt, 100 km Länge) ergibt sich bei einer dreifachen Unterteilung eines einzigen Leiterpaares mit q = 100 qmm und i = 140 Amp. pro Leiter eine Belastung mit nur 46,67 Amp. und ein Querschnitt q = 33,3 entsprechend einem Radius r = 0,326 cm. Dementsprechend ergibt sich bei Anordnung nach Fig. 148—150 eine resultierende Induktion von nur zirka 3168 Volt und bei Anordnung nach Fig. 151—154 eine solche von zirka 3360 Volt. Wenn sich dagegen die drei Leitungen a auf der einen Seite und die drei Leitungen b auf der anderen Seite der Stange befinden, so ergibt sich bei zweimaliger Vertauschung der drei Leitungsgruppen ähnlich Fig. 149 und 150 ein resultierender Spannungs-

Fig. 155.

Fig. 156.

Fig. 157.

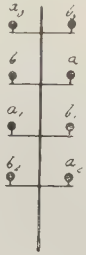


Fig. 158.

abfall von zirka 3712 Volt. — Sind die drei Leiterpaare sowohl am Anfang wie am Ende der Strecke parallel geschaltet, so muß natürlich die Endspannung für alle drei Leiterpaare gleich sein, auch ohne daß eine Verdrillung stattfindet. Es werden sich in diesem Falle die Stromstärken derartig auf die Leiter bei gleicher Gesamtsumme verteilen, daß diese Bedingung erfüllt wird. Für vier Gruppen von Einphasenleitungen ergibt sich als günstigste Anordnung diejenige nach Fig. 155. Statt je vier Leitungen paarweise untereinander zu verlegen, können dieselben auch in zwei Reihen horizontal nebeneinander angeordnet werden. In beiden Fällen läßt sich ähnlich wie oben beschrieben und zwar durch dreimalige Kreuzung der Leitungen und entsprechende Vertauschung der Leiterpaare eine gleiche Endspannung für alle vier Leiterpaare erzielen (Fig. 156—158); ebenso läßt sich durch entsprechende Kreuzung der Leitungen die gegenseitige Induktion derselben vollständig aufheben.

b) Das offene Zweiphasensystem.

Da die beiden Phasen aufeinander senkrecht stehen, so wird die resultierende Induktion auf den Draht a_1 (Fig. 159), die Hypothenuse in einem rechtwinkligen Dreieck, dessen eine Kathete die Differenz von Selbstinduktion und gegenseitiger Induktion der Phase I (a_1 und

Fig. 159.

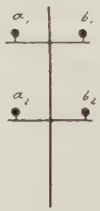



Fig. 160.

Fig. 161.

b_1) und dessen andere Kathete die Differenz der beiden gegenseitigen Induktionen der Leiter von Phase II (a_2 und b_2) auf den Draht a_1 bilden: $L = \sqrt{(L_{a_1} - M_{b_1})^2 + (M_{a_2} - M_{b_2})^2}$. Bei Anordnung der vier Leitungen nach Fig. 159 ist zwar die Einwirkung der zweiten Phase auf die erste und umgekehrt = 0; da jedoch die zu einer Phase gehörigen Leitungen

Fig. 162.

Fig. 163.

auf der Diagonale des Quadrats liegen, so ist die induzierte elektromotorische Kraft größer, nämlich = 5185 Volt, wenn die Stromstärke pro Leitung 70 Amp. und d = 80 cm und r = 0,4 cm beträgt, als wenn die Leitungen der Phase I und der Phase II nach Fig. 160 angeordnet sind und eine der beiden Doppelleitungen in der Mitte der Strecke gekreuzt wird (Fig. 161), in welchem Fall die induzierte Span-

nung nur 4880 Volt beträgt. Durch die Verdrillung der Drähte wird also auch bei dieser Anordnung der Einfluß der einen Phase auf die andere eliminiert. Denselben Wert von 4880 Volt erreicht die induzierte Spannung, wenn man die Leitung nach Fig. 162 anordnet und eine der beiden Doppelleitungen in der Mitte der Strecke kreuzt.

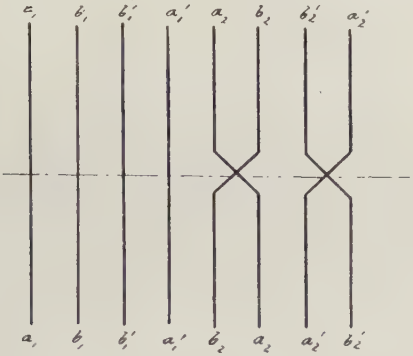


Fig. 164.

Fig. 165.

Haben wir es mit zwei Gruppen von Zweiphasenleitungen zu tun, also mit 2×4 Leitungen, so ist es am vorteilhaftesten, die zwei Doppelleitungen der Phase I, a_1 b_1 und a_1' b_1', auf der einen Seite der Stange

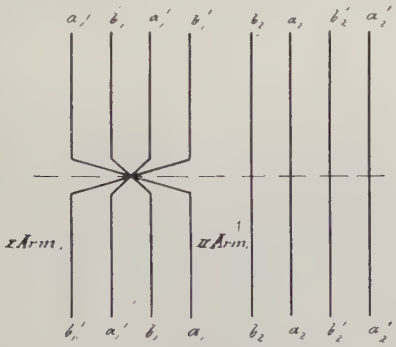


Fig. 166.

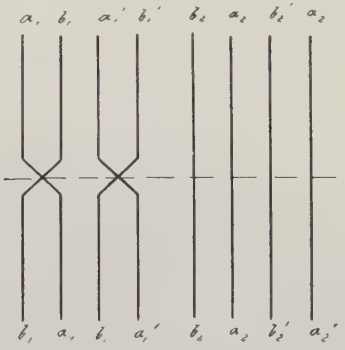


Fig. 167.

und diejenigen der Phase II, a_2 b_2 und a_2' b_2' auf der anderen Seite der Stange anzubringen (Fig. 163) und die vier Leitungen der Phase II in der Mitte der Strecke nach Fig. 164 zu kreuzen; dann wird die Induktion der zweiten Phase auf die erste und umgekehrt gleich Null und die Gesamt-

induktion für l = 100 km, n = 50, q = 50 qmm und i = 70 Amp. pro Draht = 4575 Volt. Wählt man dagegen die bisher übliche Anordnung nach Fig. 165, so ergibt sich, selbst wenn durch Vertauschung der vier Leitungen von Phase I nach Fig. 166 oder nach Fig. 167 die induktive Wirkung der zwei Phasen aufeinander aufgehoben wird,

Fig. 168.

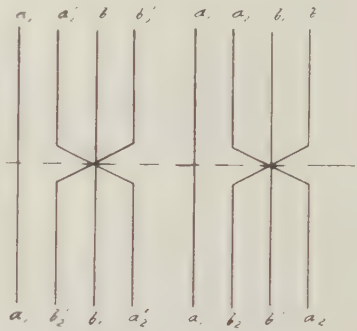


Fig. 169.

eine induzierte Spannung von zirka 5250 Volt. Falsch wäre die Anordnung nach Fig. 168 und 169, welcher bei dem gewählten Beispiel sogar eine induzierte Spannung von zirka 6200 Volt entspricht. Für unser Beispiel mit 4000 Kw primärer Leistung ergibt sich bei

Fig. 170.

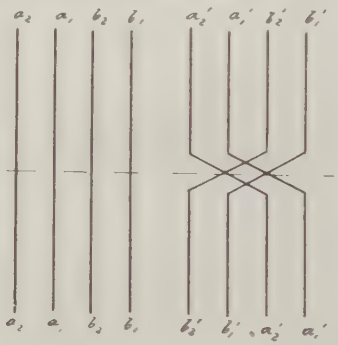


Fig. 171.

Wahl von zwei Gruppen von Zweiphasenleitungen pro Draht eine Stromstärke von 35 Amp. und ein Querschnitt q = 25 qmm entsprechend r = 0,282 cm und bei Anordnung nach Fig. 163 und 164 ein induktiver Spannungsabfall von zirka 2440 Volt, während bei Anordnung nach Fig. 165—167 E_L = 2750 Volt und bei Anordnung nach Fig. 168 und 169 E_L = 3248 Volt wird. — Durch Drehung des durch die Quer-

schnitte von vier Leitungen gebildeten Quadrates (z. B. in Fig. 159) um 90^0, unter gleichzeitiger Verringerung der Seitenlänge von d auf $\frac{d}{\sqrt{2}}$.

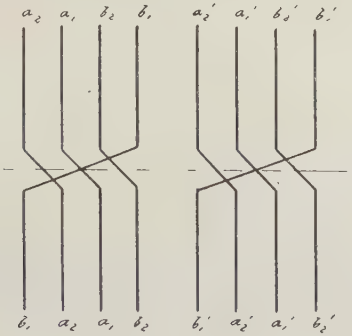


Fig. 172.

Fig. 173.

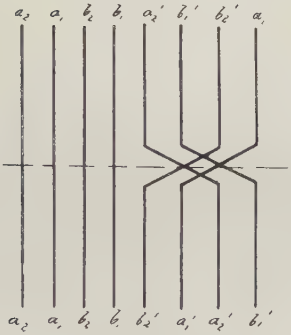


Fig. 174.

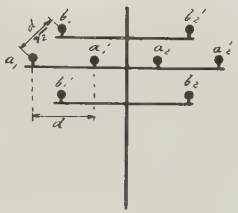


Fig. 175.

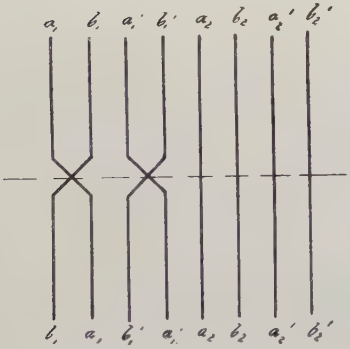


Fig. 176.

Fig. 177.

ergeben sich die verschiedenen Anordnungen nach Fig. 170—176, von denen diejenige nach Fig. 175—176 die günstigste darstellt. Für unser

Beispiel ergibt sich bei letzterer Anordnung $E_L = 2276$ Volt. Alle diese Anordnungen nach Fig. 170—176 werden wegen des Nachteils, drei Querarme verwenden zu müssen, selten benutzt.

c) Das verkettete Zweiphasensystem.

Für das verkettete Zweiphasensystem sind die Berechnungen analog wie beim offenen Zweiphasensystem anzustellen, nur ist zu berücksichtigen, daß die Phasenverschiebung zwischen dem Strom in jeder der beiden Phasenleitungen und dem Strome in der gemeinschaftlichen Rückleitung 45^0 beträgt. Bei gleich großen, um 90^0 gegeneinander verschobenen primären Phasenspannungen ergeben sich infolge der Induktion ungleich große sekundäre Phasenspannungen mit einem von 90^0 abweichenden Verschiebungswinkel, selbst wenn die Stromstärke in beiden Phasen gleich groß angenommen wird. Bei Wahl von drei Drähten - der gemeinschaftliche Rückleiter mit dem $\sqrt{2}$ fachen Querschnitt der Phasenleitungen — ist die gleichseitige Dreiecksanordnung die günstigste. Der induktive Spannungsabfall beträgt bei dieser Anordnung und bei 70 Amp. pro Phasenleitung in unserem Beispiel zirka 4950 Volt. Die Gesamtinduktion wird nicht unwesentlich verringert durch Teilung des Rückleiters in zwei Drähte von halbem Querschnitt und durch Anordnung der vier Leiter in den Ecken eines Quadrats mit einer Seitenlänge $d = 80$ cm. Der induktive Spannungsabfall beträgt in diesem Falle nur zirka 3700 Volt. Trotz diesem Unterschiede in den induzierten Spannungen fallen die effektiven Spannungsverluste bei beiden Anordnungen fast gleich groß aus.

d) Das Dreiphasensystem.

Die Berechnung der resultierenden Induktion erfolgt hier genau so wie beim Einphasen- oder Zweiphasensystem, nur sind hier, da die Ströme in den einzelnen Leitungen um 120^0 gegeneinander verschoben sind, die induzierten Spannungen entsprechend verschoben und müssen daher geometrisch zusammengesetzt werden. Für eine Dreiphasenleitung, deren Drähte a, b und c in den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks angeordnet sind (Fig. 177), ist die der Gesamtanzahl der z. B. den Leiter a schneidenden Kraftlinien proportionale E. M. K.: $E_L = LI_a + MI_b + MI_c$; da nun in jedem Augenblick $I_a + I_b + I_c = 0$, so kann man statt dessen schreiben: $E_L = I_a (L - M)$; es ergibt sich also derselbe Wert, als ob statt der Dreiphasenleitung eine Einphasenleitung mit gleichem Abstand und Radius der Drähte und gleicher Stromstärke pro Leiter

vorhanden wäre. Die induzierte Spannung pro Leiter beträgt daher: $E_L = 2\pi n I \cdot 2l\,(\text{lognat}\,\frac{d}{r} + 0{,}25)$ und die induzierte Phasenspannung das $\sqrt{3}$fache hiervon. Es ergibt sich bei dieser Anordnung die gleiche sekundäre Spannung für alle drei Phasen bei gleichmäßiger Belastung derselben. Sobald die Anordnung der Leitung nicht symmetrisch ist und die drei Leitungen z. B. in einer Ebene liegen, gilt vorstehende Formel $E_L = I\,(L - M)$ nur für den mittleren Leiter a, während sie für die beiden äußeren Leiter b und c übergeht in:

$$E_{Lb} = I_b L_b + I_a M_{a,b} + I_c M_{c,b}$$
$$E_{Lc} = I_c L_c + I_b M_{b,c} + I_a M_{a,c}$$

wobei die Summanden natürlich geometrisch zusammenzusetzen sind. Die sich nach diesen Formeln ergebenden induzierten Spannungen bezw. die zur Überwindung derselben erforderlichen elektromotorischen Kräfte stehen nicht genau senkrecht zum Ohmschen Spannungsverlust, sondern schließen einen etwas größeren bezw. kleineren Winkel als 90^0 mit der Richtung des Ohmschen Spannungsverlustes ein. Vernachlässigt man die relativ geringe Abweichung von 90^0, so kann man für den resultierenden Induktionskoeffizienten jedes der beiden äußeren Leiter schreiben

$$L = 2l\,(\text{lognat}\,\frac{\sqrt{2}\,d}{r} + 0{,}25) \cdot 10^{-4}\ \text{Henry}$$

wenn l in km ausgedrückt wird.

Bei Anordnung der drei Leiter in einer Ebene ist eine einmalige vollständige Verdrillung der Leitung (also zwei Transpositionen) notwendig, damit die drei Phasenspannungen sekundär, gleiche Belastung der Phasen vorausgesetzt, gleich werden, und für jeden Leiter gilt dann die Formel:

$$L = 2l\left(\frac{2}{3}\,\text{lognat}\,\frac{\sqrt{2}\,d}{r} + \frac{1}{3}\,\text{lognat}\,\frac{d}{r} + 0{,}25\right) \cdot 10^{-4}\ \text{Henry}\,.$$

Für unser beim Einphasensystem angeführtes Beispiel wird für das Dreiphasensystem $i = 81$ und es berechnet sich bei Wahl des gleichen Querschnittes wie vorher, also $q = 50$ qmm und $r = 0{,}4$ cm, die induzierte Spannung bei der gleichseitigen Dreiecksanordnung zu 4880 Volt; bei der Anordnung in einer Ebene dagegen und bei Verdrillung der Leitungen 4980 Volt. Haben wir es mit zwei Dreiphasenleitungen zu tun, so ist die Anordnung derart zu wählen, daß nicht nur der Spannungsabfall in jedem für sich betrachteten Stromkreis bei gleichmäßiger Belastung der drei Phasen gleich groß für jede

derselben ausfällt, sondern daß auch keine ungünstige Beeinflussung des einen Stromkreises auf den benachbarten Stromkreis in nennenswerter Weise durch gegenseitige Induktion stattfindet. Wenn die verschiedenen Stromkreise von denselben Generatoren gespeist werden, so muß die Anordnung so gewählt werden, daß die resultierende Induktion aus Selbstinduktion und aus gegenseitiger Induktion ein Minimum wird. Wenn dagegen die Stromkreise von verschiedenen Generatoren gespeist werden, welche verschieden große Periodenzahlen besitzen, so muß die gegenseitige Beeinflussung der Stromkreise aufeinander infolge von Induktion durch geeignete Anordnung gleich Null gemacht werden, da sich sonst ein periodisches Pulsieren und Schwanken der Sekundärspannung in beiden Stromkreisen bemerkbar machen würde. Vorstehendes gilt natürlich sinngemäß auch für Ein- und Zweiphasensysteme.

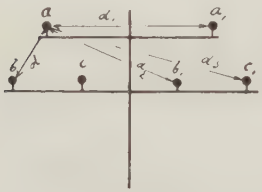


Fig. 178.

Fig. 179.

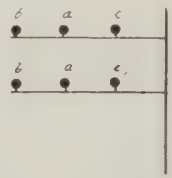



Fig. 180.

Wir unterscheiden beim Dreiphasensystem vier Grundanordnungen*). I. Fall: zwei Stromkreise, jeder in gleichseitiger Dreiecksanordnung auf verschiedenen Seiten der Stange, siehe Fig. 178 II. Fall. Zwei Stromkreise auf demselben Querarm, aber auf verschiedenen Seiten der Stange angeordnet, wobei der Mitteldraht gleiche Entfernung von den beiden anderen Drähten derselben Gruppe hat (Fig. 179). III. Fall: Zwei Stromkreise, deren Mitteldrähte gleiche Entfernung von den beiden anderen Drähten desselben Systems besitzen und welche untereinander angeordnet sind (Fig. 180). IV. Fall: Zwei Stromkreise, deren Mitteldrähte gleiche Entfernung von den beiden anderen Drähten besitzen und welche auf parallelen Querträgern, aber auf verschiedenen Seiten der Stange befestigt sind (Fig. 181). — Die Berechnung der gegenseitigen Induktion der drei Drähte der zweiten Gruppe auf jeden Draht der ersten Gruppe, z. B. für den Draht a, erfolgt unter der Benutzung der Formel:

$$E_{Ma} = 4\pi n l \, (I_{a_1} \text{ lognat } d_1 + I_{b_1} \text{ lognat } d_2 + I_{c_1} \text{ lognat } d_3) \, ,$$

*) Vgl. Bowie, El. World, Juni 1900.

welche durch sinngemäße Anwendung der Formel für die gegenseitige Induktion zweier Drähte entstanden ist, wobei d_1, d_2, d_3 die Abstände der drei Leiter der zweiten Gruppe von Leiter a bedeuten

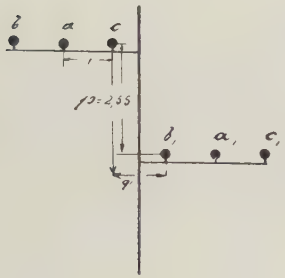


Fig. 181.

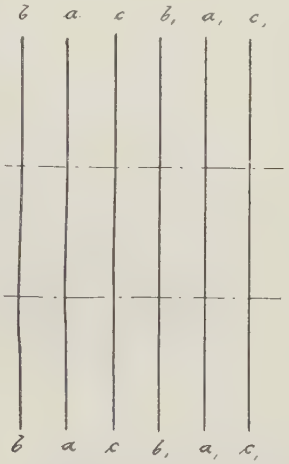


Fig. 182.

(Fig. 178) und wobei zu berücksichtigen ist, daß die drei Summanden geometrisch oder vektorisch, nicht algebraisch, zu addieren sind. Analog

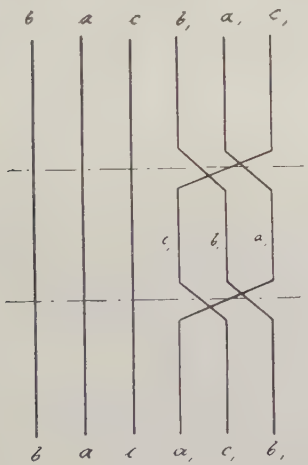


Fig. 183.

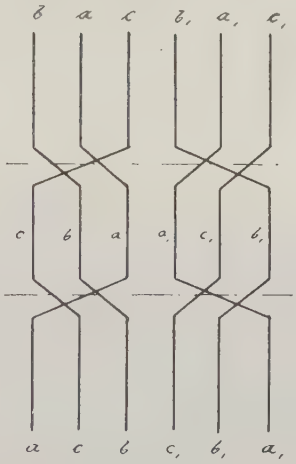


Fig. 184.

berechnen sich die induzierten Spannungen E_{Mb} und E_{Mc} für die Leiter b und c, und durch Kombination von je zwei der so errechneten Größen ergibt sich die induzierte Spannung für jede der drei Phasen.

Bei Fall I können nun folgende Anordnungen gewählt werden: 1. Keine der drei Phasenleitungen (Gruppe I und II) wird verdrillt (siehe Fig. 182), dann fallen die von der einen Gruppe auf die drei Phasen der zweiten Gruppe induzierten Spannungen verschieden groß aus und es ergibt sich also eine unsymmetrische Veränderung und Verschiebung des Spannungsdreiecks. 2. Gruppe II erhält eine vollständige Verdrillung, Gruppe I keine (siehe Fig. 183); die Wirkung der verdrillten Leitung auf die unverdrillte ist dann gleich Null, dagegen fallen die induzierten Schenkelspannungen für die verdrillte Leitung ungleich aus. Da sich jedoch bei Zusammensetzung der Schenkelspannungen die-

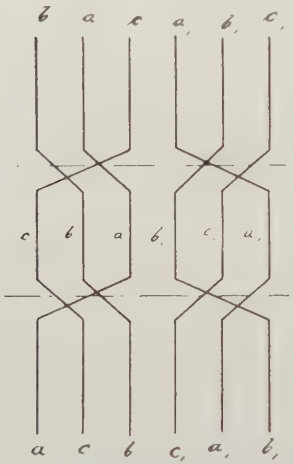


Fig. 185.

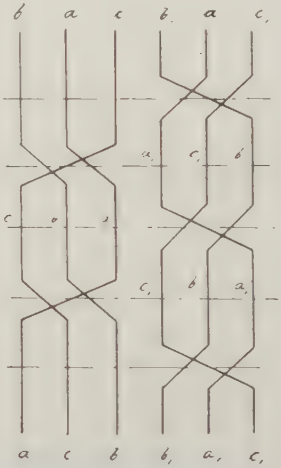


Fig. 186.

selben Phasenspannungen für die unverdrillte wie für die verdrillte Leitung ergeben, also die resultierende gegenseitige Induktion der beiden Gruppen aufeinander gleich Null wird, so hat diese Anordnung praktisch denselben Wert wie die später unter 7. angeführte. 3. Beide Stromkreise werden an denselben Stangen und in entgegengesetzter Richtung verdrillt (siehe Fig. 184); es ergibt sich eine unsymmetrische Veränderung des Spannungsdreiecks. Vertauscht man jedoch in einer der beiden Gruppen irgend zwei Drähte auf der ganzen Länge der Leitung (Fig. 185), so ergibt sich eine vollständig symmetrische Beeinflussung eines jeden der drei Drähte beider Gruppen. 4. Wie Anordnung 3, nur finden die Verdrillungen nicht an denselben Stangen, sondern alter-

nierend statt (Fig. 186); es ergibt sich hier als Größe der gegenseitigen Induktion genau die Hälfte des Wertes von Anordnung 3. 5. Beide Stromkreise erhalten eine vollständige Verdrillung und zwar beide in derselben Richtung (Fig. 187); hierbei ergibt sich eine symmetrische Veränderung des Spannungsdreiecks. 6. Wie 5, jedoch alternierende Verdrillung an den Stangen (Fig. 188); die gegenseitige Induktion fällt halb so groß aus wie bei 5. 7. Gruppe I erhält eine vollständige Verdrillung, Gruppe II drei vollständige Verdrillungen, gleichgültig, in welcher Richtung (Fig. 189); bei dieser Anordnung ist die resultierende gegenseitige In-

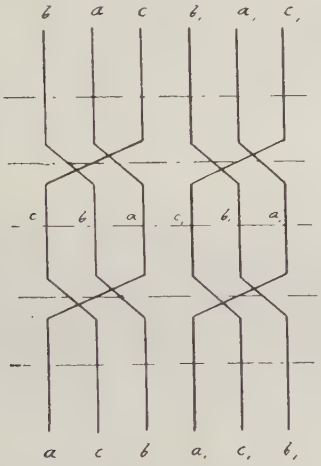


Fig. 187.

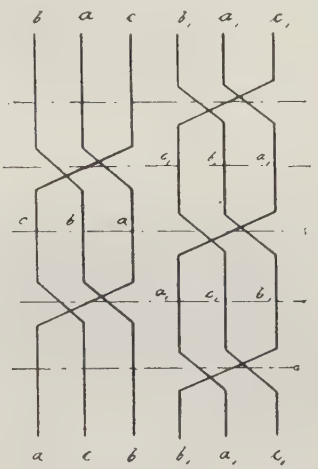


Fig. 188.

duktion gleich Null. Ähnliche Anordnungen lassen sich für die Fälle II, III und IV treffen. Im allgemeinen sind die induktiven Einwirkungen der einen Gruppe auf die andere, im Verhältnis zur Größe, des eigenen induktiven Spannungsabfalls der betreffenden Gruppe zu vernachlässigen. Es betragen z. B. für Fall I, Anordnung 1, wenn die Stromstärke in unserm Beispiel pro Draht (von 50 qmm Querschnitt) 81 Amp. beträgt, für die verschiedenen Phasen nur 81—181 Volt, gegenüber 4880 Volt induktivem Spannungsabfall in der betreffenden Gruppe selbst. Die resultierenden induzierten Spannungen der beiden Gruppen aufeinander und auf sich selbst, schwanken für Fall I, Anordnung 1, für die verschiedenen Phasen zwischen 4770 und 4970 Volt. Für Fall IV ergibt sich ebenfalls eine Anordnung, bei welcher die gegenseitige Induktion der beiden Stromkreise aufeinander gleich Null ist und

zwar für diejenige, bei welcher beide Stromkreise einmal an denselben Stangen und in entgegengesetzter Richtung verdrillt werden (s. Fig. 184). Diese Wirkung tritt aber nur ein, wenn für die in Fig. 181 angegebene Anordnung in bezug auf vertikalen und horizontalen Abstand die Gleichung gilt: $p^2 = q^2 + 4q + \frac{3}{2}$ (Gleichung einer Hyperbel).

In allen diesen Fällen kommt es, parallel geschaltete Leitungen bezw. Stromkreise vorausgesetzt, nicht darauf an, die gegenseitige Induktion gleich Null zu machen, sondern darauf, die resultierende Gesamtinduktion zu einem Minimum zu machen. Es kann die gegenseitige Induktion der beiden Stromkreise insofern von Vorteil sein, als sie bei geeigneter Anordnung die Selbstinduktion des induzierten Stromkreises verringert. Dieser Fall tritt ein bei Anordnung nach Fig. 190.

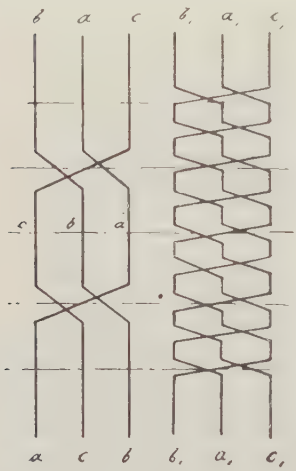


Fig. 189.

Fig. 190.

Fig. 191.

Die sechs Leitungen der beiden Stromkreise sind in einem gleichseitigen Sechseck, und zwar die miteinander parallel geschalteten Leitungen a und a_1, b und b_1, c und c_1 einander diametral gegenüber angeordnet. In diesem Falle ergibt sich für unser Beispiel bei 81 Amp. pro Leiter eine gegenseitige Induktion von 610 Volt, welche die Selbstinduktion jedes der beiden Stromkreise verringert und zwar von 5360 auf ca. 4750 Volt. Auch bei Anordnung nach Fig. 191, welche aus der vorigen dadurch hervorgeht, daß die Leitungen *c* und c_1 in die Ebene der Leitungen a und b, bezw. b_1 und a_1 fallen, wirkt die gegen-

seitige Induktion der beiden Stromkreise günstig auf die Gesamtinduktion ein, wenn auch nicht in so starkem Maße. Da der Unterschied jedoch sehr gering ist, so wird man letztere Anordnung derjenigen nach Fig. 190 aus praktischen Gründen vorziehen.

Fig. 192.

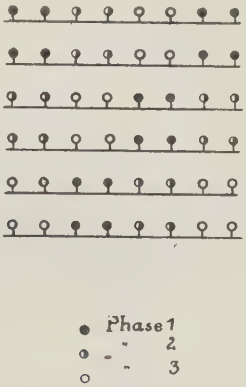


Fig. 193.

Wie aus Obigem ersichtlich, müssen die Leitungen der verschiedenen Phasen untereinander möglichst gemischt werden, damit die Induktion ein Minimum wird. Die in Fig. 192 angegebene Anordnung ist daher eine falsche, der resultierende, induktive Spannungsverlust beträgt hier pro Phase für unser Beispiel zirka 6725 Volt, gegenüber

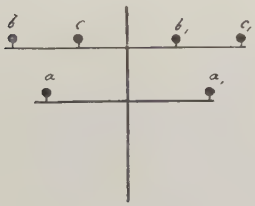


Fig. 194.

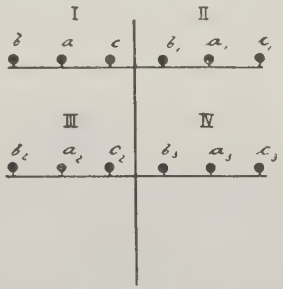


Fig. 195.

4750 Volt bei den günstigsten vorher geschilderten Anordnungen nach Fig. 190. Umgekehrt wird man die Drähte gleicher Phase möglichst nahe zusammenlegen, wenn es sich darum handelt, künstlich einen möglichst hohen induktiven Spannungsverlust zu erzielen, z. B. um eine Art Pufferwirkung für die Generatoren bei sehr variablem Betrieb (Stromlieferung für Karbidöfen usw.) zu erhalten.

Fig. 193 stellt die Leitungsordnung in einem Kabelkanal zwischen einer Primärstation und dem benachbarten Karbidwerk dar. Die Leitungen sind hier derartig gruppiert, daß der Spannungsverlust um zirka 80 % größer wird als derjenige, welcher sich bei günstigster Anordnung ergeben würde. Fig. 194 stellt ferner die Leitungsanordnung der Linie Niagara -Buffalo dar. Die Umlegung des gleichseitigen Dreiecks mit der Spitze nach unten ist hauptsächlich aus praktischen Gründen erfolgt, und zwar der größeren Sicherheit wegen gegen Kurzschließen der Leitungen durch Überwerfen von Drähten usw.

Fig. 195 und Fig. 196 geben eine Anordnung von 4 Drehstromkreisen, deren gegenseitige Induktion Null ist. Gruppe I erhält eine

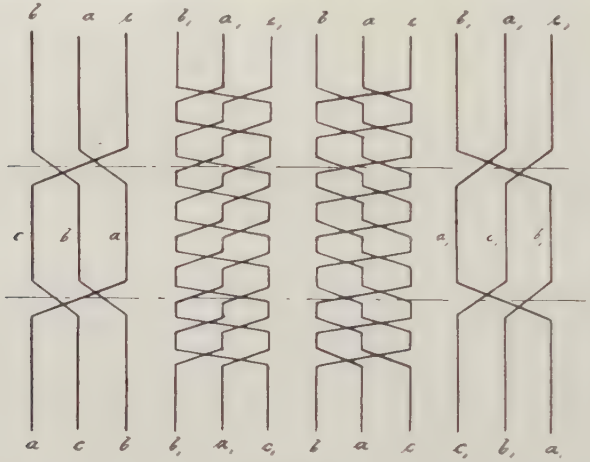


Fig. 196.

vollständige Verdrillung, Gruppe IV ebenfalls, aber nach entgegengesetzter Richtung, wobei zugleich der Abstand der beiden Leitungsträger nach der in Fall IV angegebenen Hyperbelgleichung berechnet ist. Gruppe II und III erhalten je drei vollständige Verdrillungen und zwar nach entgegengesetzter Richtung.

Da für unser Beispiel mit $q - d = 80$ cm der Abstand der beiden Leitungsträger ein sehr großer werden müßte (zirka 2,3 m) (vergl. Fig. 181), so wird man auf vollkommene Vernichtung der gegenseitigen Induktion der vier Stromkreise aufeinander verzichten und sich mit einer Annäherung begnügen, z. B. die Querträger im Abstand von ca. 0,8—1 m voneinander anbringen. Der induktive Spannungsabfall wird hierdurch nur um zirka 100 Volt größer, was gegenüber der Selbstinduktion jeder der vier Gruppen (zirka 4880 Volt) zu vernachlässigen

ist. Nur bei sehr langen Leitungen und bei großen Stromstärken muß die gegenseitige Induktion der Leitungsgruppen aufeinander berücksichtigt und durch geeignete Verdrillung der Leitungen beseitigt werden.

II. Elektrostatische Induktion.

Während Leitungen, welche nur elektromagnetische Induktion besitzen, konstanten Strom aber von Punkt zu Punkt variierende Phasenverschiebung aufweisen, vergrößert der infolge der Kapazität zweier Leitungen entstehende Ladestrom, welcher der Betriebsspannung um 90^0 vorauseilt, entweder den Hauptstrom oder er verkleinert ihn, entsprechend den Phasenverhältnissen zwischen Strom und Spannung im Stromkreise. Infolgedessen ändert sich der Strom in der Leitung von Punkt zu Punkt sowohl an Intensität als auch in Phase und die durch den Widerstand und die Induktanz verbrauchten elektromotori-

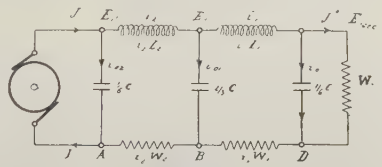


Fig. 197.

schen Kräfte ändern sich daher ebenfalls von Punkt zu Punkt in Phase und Intensität, weil sie vom Strom abhängig sind. Der Ladestrom berechnet sich aus der Formel

$i_c = 2\pi nC.l.V.10^{-6}$ Amp. oder $i_c = b.V$, wo $b = 2\pi nC.l.10^{-6}$

die Suszeptanz der Leitung in Mho angibt. Die Kapazität C ist in Mf pro Kilometer Länge ausgedrückt.

Ist der Kapazitätseffekt klein, so kann er annähernd durch einen Kondensator von derselben Kapazität wie diejenige der Leitung und zu dieser im Nebenschluß, etwa in der Mitte oder am Ende der Leitung, ersetzt werden (konzentrierte Kapazität). Der Wahrheit am nächsten kommt man, wenn man am Anfang und am Ende der Leitung zwei Kondensatoren von je $^1/_6$ der (verteilten) Kapazität der Leitung und in der Mitte einen Kondensator von $^2/_3$ Kapazität der Leitung im Nebenschluß zu dieser annimmt*) (Fig. 197). Der Ladestrom des Kondensators am Ende der Leitung i_c setzt sich mit dem Verbrauchsstrom I', welch letzterer mit der Verbrauchsspannung

*) Vgl. Steinmetz, „Theorie und Berechnung der Wechselstromerscheinungen."

E_{sec} einen Winkel φ_{sec} einschließt, zu einer Resultierenden i_1 zusammen; diesem Strom i_1 entspricht auf der Strecke BD (Fig. 197) ein Ohmscher Spannungsverlust $i_1 . W_1$ in der Richtung von i_1 und ein induktiver Spannungsverlust $i_1 . R_1$ senkrecht zu i_1 und voreilend. Die beiden Verluste setzen sich zu der Resultierenden $i_1 . Z_1$ zusammen, welche mit der Verbrauchsspannung E_{sec} die resultierende E_1 ergibt. Ebenso erfolgt die Zusammensetzung des Ladestroms i_{c1}, welcher auf der gefundenen Spannung E_1 im voreilenden Sinne senkrecht steht, mit i_1 und so fort, bis wir schließlich die Primärspannung E_{pr} und den Primärstrom I, welche um den Winkel φ_{pr} voneinander abweichen, erhalten. Die Spannungen E_{sec} E_1 E_2 ... E_{pr} liegen auf einer logarithmischen Spirale. Finden bei einer Kraftübertragungsanlage Transformatoren Verwendung, so ist bei der Berechnung der Spannungsverluste der Widerstand und die Induktanz der Leitung um den äquivalenten Widerstand bezw. um die äquivalente Induktanz der Transformatoren zu erhöhen.*)

Bezeichnet d die Entfernung der beiden parallelen Drähte voneinander, r deren Radius und h den Abstand der Leitungen vom Erdboden, so gelten für die Kapazitäten C_1 und C_2 zweier Leitungen 1 und 2 mit den Potentialen V_1 und V_2 gegen Erde und geladen mit den Elektrizitätsmengen Q_1 und Q_2 folgende Gleichungen: $C_1 = \frac{Q_1}{V_1}$, $C_2 = \frac{Q_2}{V_2}$, welche sich durch die Größen d, r und h wie folgt ausdrücken lassen.**)

1. wenn $V_1 = -V_2$ (z. B. eine Einphasenleitung), so ist $C_1 = C_2 = C$ und

$$C = \frac{0{,}02414}{\log \frac{d}{r} \cdot \sqrt{\frac{2h}{(2h)^2 + d^2}}} \text{ Mf pro km};$$

2. wenn $V_1 = V_2$ (z. B. zwei parallel geschaltete Einzelleitungen, welche an denselben Pol einer Elektrizitätsquelle angeschlossen sind), dann ist

---

*) Vgl. Electr. World and Engineer 1901, I. Band, Seite 822: „Diagramm schowing the regulation of transmission system" by F. G. Baum.

**) Vgl. Breisig, „Über die Berechnung der elektrostatischen Kapazität oberirdischer Leitungen." E. T. Z. 1898, S. 772 u. folg., E. T. Z. 1899, S. 127 u. folg. und E. T. Z. 1902 S. 1137 u. folg. Ferner Lichtenstein, „Über die rechnerische Bestimmung der Kapazität von Luftleitern und Kabeln." E. T. Z. 1904, S. 106.

$$C_1 = C_2 = C = \frac{0{,}02414}{\log \frac{2h\sqrt{(2h)^2 + d^2}}{d \cdot r}} \text{ Mf pro km;}$$

3. wenn $V_1 = V$ und $V_2 = 0$, also wenn die Leitung 2 an Erde gelegt ist, so ist die Kapazität der Leitung 1:

$$C_1 = C = \frac{0{,}02414 \log \frac{2h}{r}}{\log \frac{2h\sqrt{(2h)^2 + d^2}}{d \cdot r} \cdot \log \frac{d}{r} \cdot \frac{2h}{\sqrt{(2h)^2 + d^2}}} \text{ Mf pro km.}$$

Im allgemeinen kann die Größe d gegen $(2h)^2$ vernachlässigt werden, so daß die Formeln übergehen in:

1. $C = \frac{0{,}02414}{\log \frac{d}{r}}$ Mf pro km; 2. $C = \frac{0{,}02414}{\log \frac{4h^2}{d \cdot r}}$ Mf pro km;

und 3. $C = \frac{0{,}02414 \log \frac{2h}{r}}{\log \frac{4h^2}{d \cdot r} \cdot \log \frac{d}{r}}$ Mf pro km.

Haben wir es dagegen mit 4 parallelen Leitern zu tun, von denen zwei das Potential V_1 und zwei das Potential $-V_1$ gegen Erde haben, so ist bei Anordnung nach Fig. 139 die Kapazität jeder Leitung angenähert:

4. $C = \frac{0{,}02414}{\log \frac{d^2}{r d_1}}$ Mf pro km, hierbei ist $d_1 = d\sqrt{2}$; dagegen ist bei Anordnung nach Fig. 138 5. $C = \frac{0{,}02414}{\log \frac{d_1}{r}}$ Mf pro km; analog berechnet sich die Kapazität jedes Drahtes für eine Gruppe Zweiphasenleitungen bei Anordnung nach Fig. 160 zu: 6. $C = \frac{0{,}02414}{\sqrt{\left(\log \frac{d}{r}\right)^2 + \left(\log \frac{d_1}{d}\right)^2}}$ Mf pro km; während für Anordnung nach Fig. 159 die Formel gilt: 7. $C = \frac{0{,}02414}{\log \frac{d_1}{r}}$ Mf pro km. Für Dreiphasenleitungen erhält man bei Anordnung der Leitung in einem gleichseitigen Dreieck nach Fig. 177 für die Kapazität jedes Drahtes den Wert: 8. $C = \frac{0{,}02414}{\log \frac{d}{r}}$ Mf pro km,

wie beim Einphasensystem, während sich bei Anordnung in einer Horizontalen u. s. w. kompliziertere Formeln ergeben.

Bei der Berechnung des Ladestromes ist für V in der Formel $i_c = 2\pi n l \,.\, C \,.\, V \,.\, 10^{-6}$ Amp. für das Dreiphasensystem die Größe der Potentialdifferenz gegen Erde, also die Betriebsspannung dividiert durch $\sqrt{3}$, einzusetzen. Für unser Beispiel, in welchem $d = 80$ cm und $r = 0{,}4$ cm und bei $h = 700$ cm und $l = 100$ km, ergeben sich für die Fälle 1—8 folgende Werte für C: 1. $C = 0{,}0105$; 2. $C = 0{,}005$;

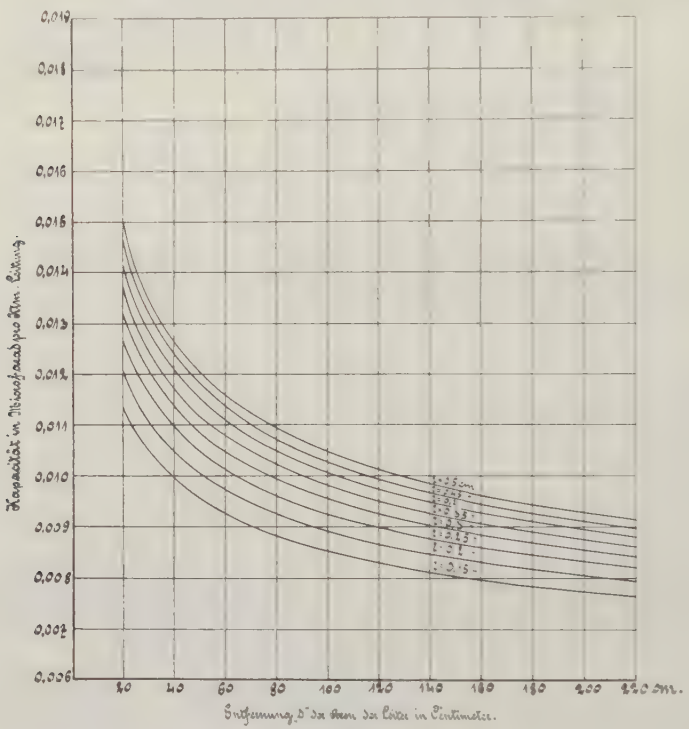


Fig. 198.

3. $C = 0{,}00773$; 4. $C = 0{,}01106$; 5. $C = 0{,}00985$; 6. $C = 0{,}0105$; 7. $C = 0{,}00985$; 8. $C = 0{,}0105$ Mf pro km. Entsprechend berechnen sich die Ladeströme unter Einsetzung von $V = \frac{E}{2} = \frac{30000}{2} = 15000$ Volt für die Fälle 1—7 und $V = \frac{E}{\sqrt{3}} = \frac{30000}{\sqrt{3}} = 17320$ Volt für Fall 8 zu: $i_{c1} = 4{,}94$; $i_{c2} = 2{,}35$; $i_{c3} = 3{,}63$; $i_{c4} = 5{,}21$; $i_{c5} = 4{,}63$; $i_{c6} = 4{,}9$; $i_{c7} = 4{,}63$; $i_{c8} = 5{,}71$ Amp. Für ein Leiterpaar von 100 qmm

Querschnitt, also $r = 0{,}565$ cm, ergibt sich dagegen die Kapazität im Falle I. zu $C = 0{,}01122$ Mf pro km und dementsprechend $i_{c1} = 5{,}283$ Amp. Wie aus dem Vergleich von i_{c1} mit i_{c4} bis i_{c7} hervorgeht, ist der Unterschied der Ladestromstärke für diese Fälle sehr gering und ist — für unser Beispiel — um so mehr zu vernachlässigen als der Wert der Ladestromstärke, rund 5 Amp., gegen die Nutzstromstärke (70 bezw. 140 Amp.), praktisch gesprochen verschwindet. Dasselbe gilt für das Dreiphasensystem.

Aus den Kapazitätskurven in Fig. 198, sind die Werte für die Kapazität C pro km Leitung, gültig für Einpasen- und Dreiphasensystem, für verschiedene Werte von d und r zu entnehmen. Die elektrostatische Induktion einer Gruppe (Hin- und Rückleitung) auf eine benachbarte Gruppe kann, bei richtiger Anordnung der Leitungen, wegen ihrer geringen Größe vernachlässigt werden. Wie aus den im vorstehenden gegebenen Formeln und Beispielen ersichtlich, wird die Kapazität eines Leiters durch benachbarte Leiter von gleichem Potential geschwächt, während benachbarte Drähte mit entgegengesetztem Potential die Kapazität des betrachteten Leiters verstärken; auch fällt die Kapazität einer Leitungsgruppe bei Zusammenlegung der Leiter gleichen Potentials kleiner aus als beim Mischen der Leiter von positivem und negativem Potential durcheinander. Die entgegengesetzte Wirkung hat die Zusammenlegung bzw. Trennung der Leiter von gleichem Potential auf die Größe der elektromagnetischen Induktion. Da letztere bei oberirdischen Starkstromleitungen im allgemeinen eine wichtigere Rolle spielt (Spannungsabfall) als die Kapazität, wenigstens bei Anlagen von mittlerer Länge und mit mäßigen Spannungen, so muß die günstigste Anordnung der Leitungen in Bezug auf Verringerung der Induktion und nicht der Kapazität gewählt werden. Bei Fernleitungen dagegen von großer Länge (z. B. über 100 km) und mit hohen Spannungen (z. B. über 30 000 Volt) und ebenso bei unterirdisch verlegten Kabeln spielt auch die Kapazität eine wichtige Rolle und zwar übt sie in diesen Fällen einen wesentlichen Einfluß auf die Größe des Energieverlustes aus. Letzterer wird durch den Einfluß der Kapazität bei induktionsfreier Belastung der Leitung stets vergrößert, bei induktiver Belastung der Leitung dagegen nur dann, wenn der Ladestrom bedeutend größer als der Nutzstrom ist. In allen anderen Fällen hat die Kapazität eine Verringerung des Energieverlustes der Fernleitung zur Folge, vergl. die Kurven in Fig. 199, welche die Verringerung bezw. Erhöhung des Energieverlustes infolge von Kapazität für verschiedene cos φ angeben, und zwar ausgedrückt in % des

Ohmschen Energieverlustes. Diese Kurven wurden berechnet nach der von Baillie*) gegebenen, angenäherten Formel

$$P = 100 \cdot \cos^2 \varphi \cdot \left[\frac{i_c}{i \cos \varphi} \cdot \tan \varphi - \frac{1}{3} \left(\frac{i_c}{i \cos \varphi} \right)^2 \right]$$

wobei P die Verringerung, bezw., wenn negativ, die Erhöhung des Energieverlustes in Prozenten des Ohmschen Energieverlustes, i_c den Ladestrom, $i \cos \varphi$ den Nutzstrom am Ende der Fernleitung bedeutet. Diese Formel stimmt sehr gut mit den sich nach der graphischen Me-

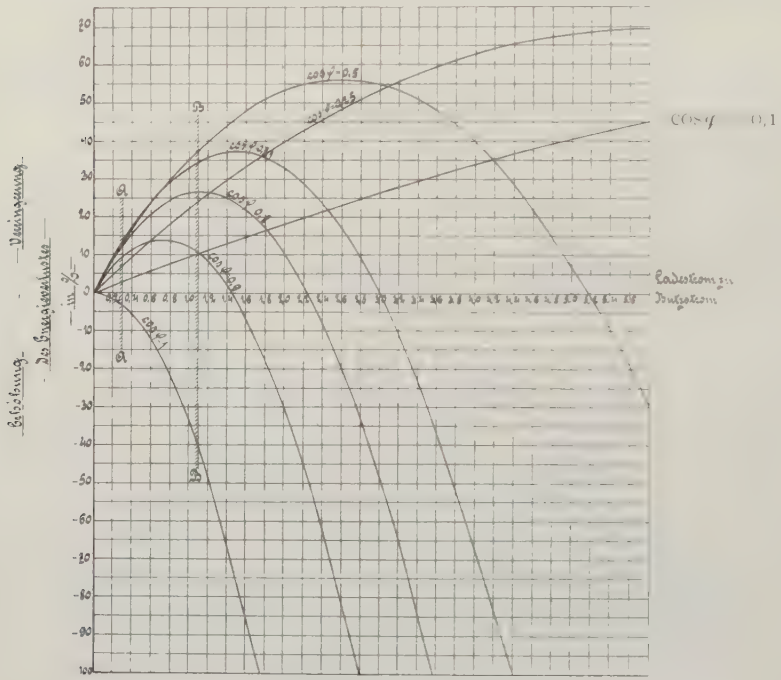


Fig. 199.

thode, Seite 145, 146 ergebenden Werten überein, wenn in der Formel für den Ladestrom $i_c = 2 \pi n C . l . V . 10^{-6}$ für V die Sekundärspannung $+ 1/3$ des Spannungsabfalls der Leitung eingesetzt wird. Die Linie A—A in Fig. 199 gibt ungefähr die maximale Beeinflussung des Energieverlustes durch die Kapazität bei Fernleitungen auf unserem Kontinente an, während Linie B–B für die größten zurzeit ausgeführten amerikanischen Anlagen bei voller Belastung der Fernleitung gilt.

*) „G. H. Baillie, „The effects of selfinduction and capacity in electric Transmission;“ The Electrician 1902; London.

Für die längste zurzeit existierende Drehstromfernleitung Colgate — San Francisko der Bay Counties Co, für welche $l = 360$ km; $q = 68$ qmm; $d = 90$ cm; $r = 0{,}465$ cm; $n = 60$, ergibt sich, wenn $E_{sec} = 60\,000$ Volt und $i_{sec} = 46$ Amp.

1. falls $\cos \varphi_{sec} = 1$, eine Erhöhung des (Ohmschen) Energieverlustes infolge der Kapazität um etwa 40 %; die primäre Leistung beträgt in diesem Falle ca. 5600 Kwatt, die sekundäre 4775 Kw, also der wirkliche Verlust 825 Kw, während ohne Berücksichtigung der Kapazität sich ein Verlust von nur 590 Kw ergeben würde; ferner: E_{pr} etwa 63 000 Volt, $i_{pr} = 66$ Amp. und $\cos \varphi_{pr} = 0{,}78$;

2. falls $\cos \varphi_{sec} = 0{,}707$, so ergibt sich eine Verringerung des Energieverlustes um ca. 37 %; die primäre Leistung beträgt ungefähr 3740 Kw, die sekundäre Leistung 3370 Kw, also der wirkliche Verlust nur 370 Kw gegen 590 Kw ohne Berücksichtigung der Kapazität; $E_{pr} = 67\,550$ Volt; $i_{pr} = 36$ Amp. und $\cos \varphi_{pr} = 0{,}892$. — Ohne Berücksichtigung der Kapazität würde sich bei $\cos \varphi_{sec} = 1$, E_{pr} 68 600 Volt und $\cos \varphi_{pr} = 0{,}985$ und bei $\cos \varphi_{sec} = 0{,}707$, E_{pr} zu etwa 74 000 Volt und $\cos \varphi_{pr} = 0{,}68$ ergeben.

Um die ungünstige Beeinflussung des Wirkungsgrades durch die Kapazität bei induktionsfreier Belastung oder bei sehr großem Ladestrom gegenüber dem Nutzstrom bei induktiver Belastung aufzuheben, können Induktionsspulen, zu dreien in Stern geschaltet und an die Fernleitung gelegt, benutzt werden, deren Reaktanz, im Verein mit derjenigen der elektromagnetischen Induktion der Leitungen, die Kapazitätsreaktanz aufzuheben vermögen. Auch kann, falls an die Leitung Synchronmotoren angeschlossen sind, durch Untererregung der letzteren die Wirkung der Kapazität teilweise eliminiert werden. Umgekehrt kann durch Übererregung der Synchronmotoren Kapazitätsreaktanz erzeugt und letztere dazu benutzt werden, die elektromagnetische Reaktanz einer Leitung mit geringer Kapazität aber mit hohem induktivem Spannungsabfall auszugleichen. Schließlich kann die Kapazität von Fernleitungen durch Vergrößerung des Abstandes d der Leitungen voneinander verringert werden, wodurch aber gleichzeitig die Induktanz der Leitungen vergrößert wird. Für die eben erwähnte Fernleitung Colgate—San Francisco würde z. B. durch Wahl eines Abstandes von $d = 400$ cm statt 90 cm die Kapazität von 3,78 Mf auf 2,97 Mf herabgedrückt werden, während die Induktanz gleichzeitig von 0,396 H. auf 0,503 H. erhöht wird. In diesem Falle ergibt sich unter sonst gleichen Verhältnissen bei $\cos \varphi_{sec} = 1$ ein Energieverlust von

nur 744 Kw gegen 825 Kw bei d = 90 cm, während gleichzeitig cos φ_{pr} 0,88 statt 0,78 wird. Vergl. auch Fig. 199, aus welcher ferner ersichtlich ist, daß es bei cos $\varphi_{sec} = 0{,}70$ keine nennenswerte Verringerung des Energieverlustes zur Folge hätte, wenn d = 400 statt 90 cm gewählt werden würde, da die betreffende Kurve zwischen den Werten von zirka 0,85 (für d = 400) und zirka 1,1 (d = 90) für das Verhältnis von Ladestrom zu Nutzstrom fast horizontal verläuft.

In einem Wechselstromkreis, welcher aus Widerstand, Selbstinduktion, und Kapazität, in Serie geschaltet, besteht, kann unter gewissen Bedingungen die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion oder diejenige der Kapazität bedeutend höhere Werte annehmen als die elektromotorische Kraft der Stromquelle (Resonanzerscheinungen). Diese Spannungssteigerung hängt nicht von der absoluten Größe der Selbstinduktion und der Kapazität ab, sondern von ihrer relativen Größe zueinander und ferner von der Frequenz des Stromes sowie von der Größe des Widerstandes des Stromkreises. Die Bedingung für die maximale Spannungssteigerung ist gegeben durch die Gleichung $C = \frac{L}{W^2 - \omega^2 L^2}$; bei höheren Periodenzahlen ist W^2 gegen $\omega^2 L^2$ zu vernachlässigen und dann geht die Formel über in $C = \frac{1}{\omega^2 L}$. In diesem Falle wird die Stromstärke so groß, als ob sowohl Selbstinduktion wie auch Kapazität gleich Null und nur der Ohmsche Widerstand allein vorhanden wäre und gleichzeitig wird die natürliche Periodenzahl des Stromkreises gleich derjenigen der Generatoren, denn dann ist

$$\omega = 2\pi n = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}} \quad \text{also} \quad n = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}},$$

welcher Ausdruck gleichzeitig die natürliche Periodenzahl des Stromkreises angenähert angibt. Es tritt dann elektrische Resonanz ein, und eine Erhöhung der Spannung mit jeder Periode. Nur der Widerstand der Leitungen und der eingeschalteten Maschinen und Apparate sowie derjenige der Unterbrechungsstrecken, verhindert dann das unendliche Anwachsen der Spannung.*) Bei diesen Betrachtungen ist angenommen, daß die Kurve der Betriebspannung sinusförmig ist. Weicht sie von der Sinuskurve ab, enthält sie also noch Oberschwingungen, so kann auch für diese

*) Siehe Neustadt, E. T. Z. 1893. Bedell-Crehore, Alt. Current 1893. Kapp, E. T. Z. 1893. Hanappe, l'Eclairage electrique 1900. Börnecke, Zeitschrift für Elektrotechnik 1901, Nr. 40.

Resonanz eintreten, wenn die natürliche Periodenzahl des Stromkreises mit der Periodenzahl solcher Oberschwingungen übereinstimmt. Aus diesem Grunde sucht man die Spannungskurven der Wechselstromgeneratoren möglichst sinusförmig zu gestalten, damit solche Komplikationen nicht eintreten. Bei Fernleitungen hat man es während des normalen Betriebes in der Regel nicht mit Kapazität in Serie mit Induktanz und Widerstand, sondern in Parallelschaltung mit denselben zu tun (s. Seite 145), es ist also während des normalen Betriebes keine Spannungsresonanz, herrührend von Kapazität, zu befürchten. Sie kann aber eintreten, wenn durch Änderungen im Stromkreise (einpolige Unterbrechungen usw.) die gekennzeichnete Serienschaltung der in Wechselwirkung tretenden Größen eintritt und gleichzeitig die Bedingungen der Resonanz erfüllt sind. Häufiger als reine Resonanz sind Spannungserhöhungen, die dadurch auftreten, daß sich infolge der natürlichen Periodenzahl des Stromkreises durch plötzliche Änderungen im Gleichgewichtszustande desselben sog. „freie Schwingungen" über die Grundschwingung (Frequenz) des Betriebstromes lagern. Diese sind rasch verlaufend und vorübergehend oder sich dauernd erneuernd z. B. bei Funkenstrecken, die sich im Stromkreise irgendwo bilden. Zum Beispiel entstehen solche freie Oszillationen, wenn eine Leitung unter Belastung oder Kurzschluß plötzlich ausgeschaltet wird, oder wenn eine Hochspannungsleitung plötzlich eingeschaltet und dadurch geladen wird.*) Der erste Fall, der gefährlichere, sei kurz erörtert. Wird der Strom, der in einer Leitung fließt, plötzlich abgeschaltet, so muß die Energie, welche in seinem magnetischen Felde aufgespeichert ist, in den Kondensator fließen, welchen die Leitungen miteinander bilden, da kein anderer Ausgleich vorhanden ist. Der Kondensator ist in diesem Falle (die in Wirklichkeit über die ganze Leitung verteilte Kapazität in der Mitte der Fernleitung konzentriert angenommen) mit der halben Leitung und mit dem Generator in Serie geschaltet. Die am Kondensator entstehende Spannung V wird dann $V = I \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$ und ist also um so größer, je größer die abgeschaltete Stromstärke und die Selbstinduktion des Stromkreises und je kleiner die Kapazität desselben ist. Für eine Dreiphasenleitung ist L, bezogen auf die halbe Länge, etwa 0,05 . K Henry und C etwa $1 . 10^{-6}$ K Farad, wenn K die Länge der Leitung in 100 km bedeutet; demnach wird $V = \backsim 245\ I$ und das Maximum

*) Baum, „Surges in Transmission circuits." Electr. World, Juli 1902, Kenelly, „Surges in Transmission circuits." Electr. World. Nov. 1901.

(Amplitude) von $V = 245 . I \sqrt{2}$. Diese elektromotorische Kraft wird derjenigen der Leitung superponiert, und das Maximum der resultierenden elektromotorischen Kraft wird entstehen, wenn beide Komponenten zu gleicher Zeit ihr Maximum erreichen. $V_{max} = E \cdot \sqrt{2} + 245 . I \sqrt{2}$, wobei E die Spannung gegen Erde bedeutet. Die Periodenzahl N dieser freien Oszillationen, welche unter den oben genannten Bedingungen auftreten können, ist $N = \frac{1}{2\pi \sqrt{L . C}}$ oder, unter Einsetzung der Mittelwerte für L und C, $N = \backsim \frac{645}{K}$ wenn K wieder die Länge der Leitung in 100 km bedeutet; für 300 km ist also $N = \backsim 215$, für 1200 km $N = \backsim 54$. Im vorstehenden ist allerdings nur die Induktanz und die Kapazität der Leitung in Rechnung ge-

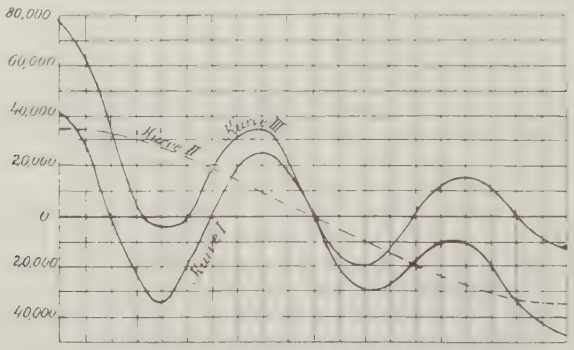


Fig. 200.

zogen worden; wie Steinmetz gezeigt hat, muß jedoch auch die Induktanz und Kapazität der Transformatoren und Generatoren, überhaupt des ganzen Stromkreises in Rechnung gezogen werden, um genaue Werte für die Periodenzahl des letzteren zu erhalten. - In Fig. 200 gibt Kurve I das oszillierende Potential, entstanden durch Abschalten von 150 Amp. am Ende einer zirka 210 km langen Fernleitung, Kurve II die Generatorspannung, Kurve III das resultierende Linienpotential, hierbei ist $E = 25000$ Volt also $E_{max} = 25000 \sqrt{2} = 35300$ Volt; $n = 60$; $N = 308$; $V_{max} = 77600$ Volt. Durch Anordnung geeigneter Schutzvorrichtungen, sog. Überspannungssicherungen, sowie hoher induktionsfreier Widerstände, mittels welcher die Leitungen an Erde gelegt werden, sucht man die Leitungen, Transformatoren usw. vor den zerstörenden Wirkungen der Spannungswellen zu schützen.*) Die bei plötzlichem Ein- oder

*) B. Thomas, „On static strains in high potential circuits." Transactions

Ausschalten von Fernleitungen entstehenden Spannungserhöhungen können dadurch vermieden werden, daß man die betreffenden Leitungen mittels entsprechender Vorrichtungen vor dem Einschalten ladet bzw. vor dem Ausschalten entladet.*)

Schließlich treten noch Spannungserhöhungen auf durch Blitzschläge und zwar entweder direkt, durch Einschlagen des Blitzes in die Leitung, was jedoch nur selten vorkommt und wogegen es keine Schutzvorrichtungen gibt, oder indirekt durch Induktion, wenn in der Nähe der Leitungen eine atmosphärische Entladung erfolgt. Die in letzterem Falle auftretenden Ladungen werden durch geeignete Blitzschutzvorrichtungen**) zur Erde abgeleitet. Das Gleiche geschieht, wenn die Leitungen durch bewegte Luft durch Abgabe der Ladung von Staubteilchen, Wasserbläschen und Schneeflocken, die mit ihnen in Berührung kommen, elektrisch geladen werden. Auch in diesem Falle können beträchtliche Spannungen erzeugt werden, besonders wenn ein Teil der Leitungen über eine größere Bodenerhebung führt, denn häufig ist eine Höhendifferenz der einzelnen Teile der Leitung begleitet mit einem verschieden hohen Potential der die Leitungen umgebenden Luft.

Da statische Ladungen nicht in das Innere von Leitern eindringen können, sondern nur an der Oberfläche haften, könnte man das Entstehen atmosphärischer Ladungen auf Fernleitungen dadurch verhindern, daß man letztere mit einem nicht zu weitmaschigen und gut geerdeten Drahtnetz umgibt. Die hohen Kosten einer solchen Schutzvorrichtung, sowie das Bestehen der Gefahr eines Kurz- oder Erdschlusses beim Reißen der Drähte, stehen der Verwendung eines solchen Netzes oder Käfigs entgegen; einen einzigen geerdeten Draht (Stacheldraht) oberhalb der Leitungsdrähte anzuordnen, genügt nicht.

III. Ableitung.

Während die Ableitung durch Stromübergang über die Isolatoren und Stützen hinweg bei gut ausgeführten Anlagen mit passend gewählten Isolatoren zu vernachlässigen ist (s. S. 90), tritt bei sehr hohen

---

of the American Institute of Electr. Engineers, Märzheft 1902. Benischke, „Spannungssicherungen." E. T. Z. 1902, S. 552.

*) Vergl. The Electrician, London 10. Juli 1903 „The arrangement and control of long distance transmission lines" by E. Cowan and L. Andrews. Ferner E. T. Z. 1903, S. 777 „Verhütung von Überspannungen in Fernleitungen".

**) Vergl. Benischke, „Die Schutzvorrichtungen der Starkstromtechnik gegen atmosphärische Entladungen" E. T. Z. 1901, S. 569.

Spannungen ein Verlust durch eine andere Art Ableitung, und zwar durch Übergang eines Teilstromes direkt von Draht zu Draht durch die Luft (dunkele Entladungen) auf, weil die Luft nur bis zu einem gewissen Grad nichtleitend ist. Dieser Ableitungsstrom zwischen den Drähten hängt ab: 1. von der Höhe der Spannung, 2. von der Entfernung der Drähte voneinander und 3. von dem Durchmesser derselben, und zwar findet bei Anwachsen der Spannung und bei Abnahme der Entfernung und des Durchmessers eine Zunahme des Verlustes statt. Der Ableitungsstrom $I_a = E.g$, wo

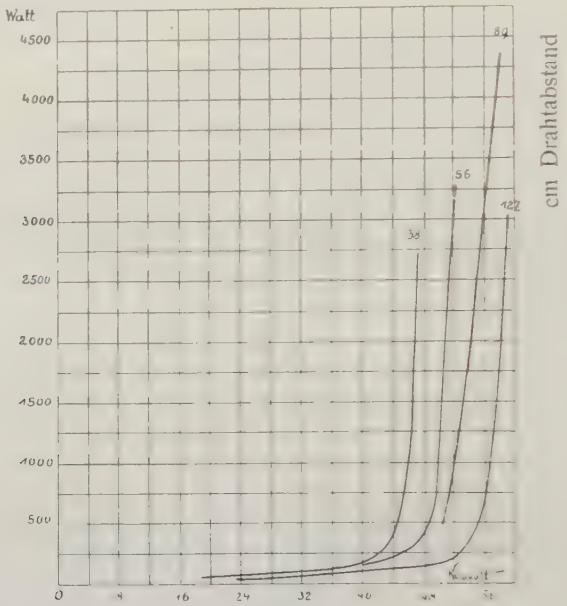


Fig. 201.

E die Betriebsspannung und g die Ableitung oder Konduktanz bedeutet; g wird in Mho ausgedrückt und ist eine Funktion des Abstandes, der Länge und des Durchmessers der Leitungen, sowie des Isolationswiderstandes der Luft. Letzterer hat keinen konstanten Wert pro cm/qcm, sondern hängt selbst von der Höhe der Betriebsspannung und von der Reinheit sowie von dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft ab. Eine genaue Kenntnis dieser Abhängigkeitsverhältnisse fehlt bis jetzt. Versuche bei Hochspannungsanlagen haben gezeigt, daß der durch Ableitung entstandene Energieverlust bei den in der Praxis üblichen Entfernungen und bei Spannungen bis zu zirka 45 000 Volt

so gering ist, daß er vernachlässigt werden kann. Über 45—50 000 Volt beginnt derselbe jedoch bei steigender Spannung sehr schnell zu wachsen, und erreicht z. B. bei 56 000 Volt und bei 60 Perioden die Größe von insgesamt 3000 Watt bei einem Drahtdurchmesser von 4,2 mm, einem Drahtabstand von ca. 90 cm und bei einer Leitungslänge von 3,6 km.*) Fig. 201 stellt die Größe des Verlustes durch Ableitung bei verschiedenen Spannungen und Drahtabständen bei 3,6 km Leitungslänge dar. Die Größe der Spannung, bei welcher die Kurve das charakteristische Knie macht und dann sehr schnell zu steigen beginnt, hängt außer von dem Abstand und dem Durchmesser der Drähte auch von der Form der Spannungskurve der Generatoren ab. Über 80 000 bis 100 000 Volt wird man wegen der ungenügenden Isolierfähigkeit der Luft bei Fernleitungen kaum gehen können, jedenfalls muß für den praktischen Betrieb die Entfernung der Drähte voneinander so gewählt werden, daß der Verlust durch Ableitung unterhalb des Knies der Verlustkurve bleibt.

C. Gegenseitige Anordnung von Stark- und Schwachstromleitungen auf demselben Gestänge mit Rücksicht auf Störungsfreiheit.

Bei Benutzung ein und desselben Gestänges für Schwach- und Starkstromleitungen muß die Anordnung derart getroffen werden, daß die im Abschnitt A, betreffend Beseitigung der Störungen von Schwachstromleitung, angegebenen Bedingungen so weit als möglich eingehalten werden. Außer mit den Störungen durch direkten Stromübergang, sei es durch Baumzweige, überhängende Schnüre, Drahtbruch u. dgl. oder durch Stromübergang über die Isolatoren und das Gestänge hinweg infolge ungenügender Isolation, welch letzteren Störungen durch Wahl geeigneter Isolatoren begegnet werden kann, haben wir es speziell mit Störungen durch elektromagnetische und durch elektrostatische Induktion zu tun, wobei die Starkstromleitung stets als das primäre, die Schwachstromleitung als das sekundäre Element zu betrachten ist. Um die induktiven Einwirkungen der Starkstrom- auf die Schwachstromleitung zu eliminieren, ist es erforderlich, 1. die letztere in einem möglichst großen Abstand (nicht unter 1,5 m) unterhalb der Starkstromleitung an-

*) Vgl. Electr. World, 1898, Nov. 26: „High Voltage Power Transmission" by Ch. F. Scott und E. T. Z. 1899, S. 155.
Z. f. Elektrotechnik 1904, S. 226.

zubringen, 2. die beiden Zweige (Hin- und Rückleitung) der Schwachstromleitung möglichst nahe nebeneinander zu verlegen, so daß die Restwirkung der von der Starkstromleitung herrührenden Induktion infolge der annähernd gleichen Entfernung der beiden Leiter von den Starkstromleitungen in beiden Zweigen ungefähr gleichgroß ausfällt und sich also fast vollständig aufhebt; 3. müssen sowohl Starkstrom- wie Schwachstromleitung in geeigneter Weise verdrillt werden, um die von der unsymmetrischen Lage der Leitungen gegeneinander herrührende Restwirkung der elektromagnetischen und elektrostatischen Induktion zu kompensieren. Eine zweckmäßige Anordnung einer, bezw. zweier Dreiphasenleitungen mit einer Telephonleitung ist aus Fig. 202 bis 205 zu ersehen. Die Teilstrecken, an deren Ende die Kreuzungen

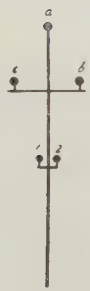



Fig. 202.

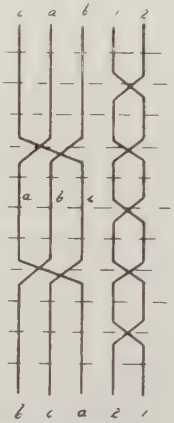


Fig. 203.

Fig. 204.

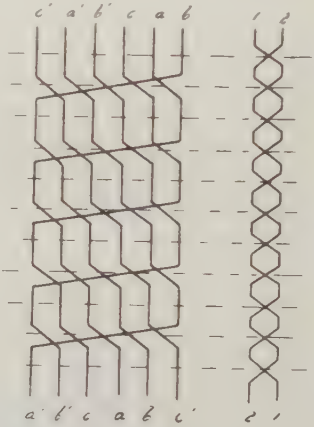


Fig. 205.

der Drähte stattfinden, sind einander so genau als irgend möglich, gleichgroß zu machen; auch sind die Teilstrecken nicht zu groß und zwar nicht über 1,5 bis 2 km Länge zu wählen. Die Schwachstromleitung ist doppelt so viele Male zu kreuzen als die Starkstromleitung (Fig. 203). Die Gesamtanordnung muß eine derartige sein, daß an derjenigen Stelle, an welcher die Telephonleitungen die Maste der Starkstromleitungen verlassen, die Verdrillungen, bezw. so und so viele komplette Schraubengänge, beendet sind. Es ist daher die gemeinschaftliche Strecke gleich von vornherein in eine entsprechende Anzahl genau gleicher Teile zu teilen. Findet auf der gemeinschaftlichen Strecke eine Stromabnahme von der Starkstromleitung statt, so ist jede Abteilung, innerhalb welcher der Strom konstant ist, für sich in der angegebenen Weise zu behandeln. Schließlich empfiehlt es sich für

die Telephonleitungen, Doppelstützen zu verwenden, um die störende Wirkung von Stromübergang und Stützenladung zu eliminieren.

Eine Anordnung, bei welcher die oben erwähnten Bedingungen 2. und 3. in weitgehender Weise erfüllt sind, ist diejenige von Hackethal (Fig. 206). Bei dieser Anordnung ist 1. der Abstand der beiden Schwachstromleitungen auf ein Minimum reduziert, was durch Wahl besonders isolierter Leitungen (Verwendung eines Gespinstes, getränkt mit Mennige und Leinöl) ermöglicht wird; 2. wird an jedem Stützpunkt für beide Leitungen ein gemeinschaftlicher Isolator von besonderer Form (ähnlich Fig. 64) mit doppeltem Schutz gegen Stromübergang verwendet, an welchem die Hinleitung und die Rückleitung wechselständig an der rechten und linken Seite des Isolatorkopfes befestigt werden. Die beiden zu einer Schleifenleitung verbundenen Einzelleitungen kreuzen sich daher in allen Feldern und zwar genau in der Mitte zwischen den Stützpunkten. Infolge dieser symme-

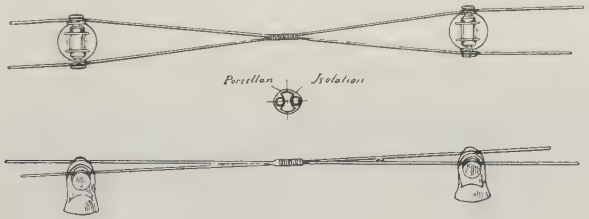


Fig. 206 u. Fig. 207.

trischen Anordnung und infolge des geringen Abstandes der Drähte voneinander ist die elektromagnetische Beeinflussung beider durch benachbarte Starkstromleitungen eine ganz gleichmäßige, sie hebt sich daher auf. Die Verwendung eines gemeinschaftlichen Isolators für Hin- und Rückleitung bietet den weiteren Vorteil, daß die statische Ladung an den Stützen, welche die Sprechströme abschwächt und dadurch die Sprachverständigung auf gewisse Entfernungen beschränkt, am Entstehen verhindert wird. Die gegenseitige Festlegung der Drähte an den Kreuzungsstellen erfolgt unter Benutzung speziell geformter Porzellanstücke als Drahtlager, welche nach der Verlegung ebenfalls isoliert werden (Fig. 207).*) Ob der Isolationswiderstand der nach dem Hackethalschen Verfahren isolierten Leitung dauernd genügend

*) Vgl. die Broschüre von Hackethal, Über den Schutz der Schwachstromanlagen u. s. w. 1900; ferner das Gutachten von Prof. Dr. C. Heim, Hannover: Über Versuche mit Hackethal-Drahtleitungen auf der Strecke Hannover-Hildesheim, Aug. 1899.

hoch bleibt, muß erst die Erfahrung lehren. In einem richtig transponierten System hat jeder Telephondraht dieselbe durchschnittliche Entfernung von jedem Starkstromdrahte; das Potential, welches das Telephonsystem infolge elektrostatischer Induktion anzunehmen sucht, ist daher dasjenige des neutralen Punktes des Kraftsystemes. Unter normalen Bedingungen hat dieser Punkt das Erdpotential. Wenn dagegen Ableitung oder Erdschluß bei einer der Kraftleitungen eintritt, so wird das Potential des neutralen Punktes je nach Größe des Erdschlusses mehr oder weniger erheblich von dem Erdpotential abweichen und kann sehr beträchtliche Werte (theoretisch bis 58 % der Betriebsspannung) annehmen. Um nun in einem solchen Falle das Entstehen eines hohen Potentials der Telephonleitung gegen Erde zu verhindern, sucht man die elektrostatische Kapazität zwischen Telephonleitung und Erde so groß als möglich, diejenige zwischen Telephon- und Starkstromleitung so klein als möglich zu machen, da sich die gesamte E. M. K. zwischen neutralem Punkt der Kraftleitung und Erde im umgekehrten Verhältnis zu den Kapazitäten dieser beiden Kondensatoren auf letztere verteilt. Dieses wird z. B. erreicht durch Verwendung eines in nächster Nähe der Telephonleitung verlegten, gut geerdeten Drahtes oder durch Verwendung von Autotransformatoren, deren Spulenmittelpunkt in den Telephonstationen an Erde gelegt wird. Auch bei Verwendung dieser Hilfsmittel kann die Telephonleitung immer noch eine erhebliche Spannung gegen Erde annehmen. Man wird daher die Telephonleitung nicht nur auf der Strecke (Isolatoren), sondern auch im Innern der Stationen sorgfältigst zu isolieren haben.*) Um die Schwachstromleitungen vor den Wirkungen der Hochspannung bei Drahtbruch zu sichern, können Schutznetze zwischen beiden Leitungen angeordnet werden. Abgesehen von der hieraus erwachsenden starken Mehrbelastung der Gestänge durch totes Gewicht, steht bei größeren Anlagen die Höhe der Kosten der Durchführung dieser Maßnahme erschwerend im Wege. Man verzichtet daher heute fast ganz auf Schutznetze, die nur noch an Wegkreuzungen usw. verwendet werden und benutzt Sicherungen (Grob- und Feinsicherungen in Verbindung mit Funkenstrecken) zum Schutz der Apparate**) und besonders konstruierte Telephonapparate, die so ausgebildet sind, daß der

*) Vergl. The Journal of Electricity Power and Gas, Vol. XIII Nr. 2 Februar 1902, „Transposition and relativ location of power and telephone wires" by L. M. Lincoln.

**) Vergl. E. T. Z. 1902, Franke S. 1046 sowie E. T. Z. 1903, Steidle S. 513.

Sprechende selbst dann nicht gefährdet ist, wenn die Telephonleitung unmittelbar Hochspannungsschluß bekommt. Da die Erfahrung gezeigt hat, daß selbst bei Berücksichtigung der im vorstehenden genannten Schutzbedingungen eine Verständigung mittels Telephon dann unmöglich ist, wenn eine der Starkstromleitungen — auf gemeinschaftlichem Gestänge mit der Schwachstromleitung — Erdschluß bekommt oder unterbrochen wird, eine schnelle Verständigung zwischen den einzelnen Stationen aber gerade dann von großem Wert ist, wenn eine Betriebsstörung stattgefunden hat, so empfiehlt es sich, noch eine zweite Gelegenheit zum Telephonieren und zwar auf einer separaten Leitung (Benutzung des Staatstelephons) vorzusehen. Unter Umständen ist noch ein Signalisieren oder Telegraphieren mittels der gestörten Schwachstromleitung möglich.

D. Anordnung von Starkstromleitungen auf besonderen Gestängen in der Nähe von Schwachstromleitungen.

Hin- und Rückleitung jedes Stromkreises sind in möglichst geringem Abstand voneinander am gleichen Gestänge, bezw. an den gleichen Querträgern anzubringen. Die Erde darf als Rückleitung nicht verwendet werden. Bei Bahnanlagen, bei welchen gut leitend miteinander verbundene Schienen als Rückleitung benutzt werden, muß die Einzelleitung (Kontaktleitung) hinreichend weit von den Schwachstromleitungen (nicht unter 10 m) angeordnet werden, während die Schwachstromschleifendrähte vertikal untereinander zu verlegen sind. In Städten, in welchen die Telephonleitungen noch nicht durchweg als Doppelleitungen verlegt sind, dürfen die Schienen nicht als Rückleitung bis zur Zentrale benutzt werden, sondern es sind isolierte Rückleitungen zu verwenden. Die Starkstromleitungen sind auf Wegen, auf welchen dieselben in gleicher Richtung mit den staatlichen Leitungsschleifen laufen, tunlichst auf der entgegengesetzten Wegseite und so zu führen, daß der Abstand ein möglichst großer wird.*) Findet trotzdem eine Beeinflussung statt, so müssen entweder die Starkstrom- oder die Schwachstromleitungen oder — bei sehr ungünstigen Verhältnissen — beide Leitungsarten in der auf Seite 158 beschriebenen

*) Siehe Telegraphenwegegesetz v. 18. Dezember 1899 und Reichstelegraphengesetz v. 6. April 1892, sowie Erlass in Preußen betr. Schutz der Telegraphen- und Fernsprechanlagen gegenüber elektrischen Kleinbahnen vom 9. Februar 1904; E. T. Z. 1904 S. 192.

Weise verdrillt werden. Kreuzungen der Starkstromleitung mit Telegraphen- und Telephonleitungen sind tunlichst zu vermeiden und da, wo sie nicht zu umgehen sind, möglichst so auszuführen, daß die Leitungen sich rechtwinklig kreuzen und die Starkstromleitungen oben zu liegen kommen.*) Der vertikale Abstand zwischen dem untersten Draht der oberen Leitung und dem obersten Draht der unteren Leitung soll wenigstens 1,5 m betragen. Die Stützpunkte der Starkstromleitung zu beiden Seiten der Kreuzungsstellen müssen so nahe zusammengerückt werden, daß Drahtbrüche ausgeschlossen erscheinen. Sollten die örtlichen Verhältnisse es bedingen, daß die Starkstromleitungen unter den Schwachstromleitungen geführt werden müssen, so trägt die zuständige Telegraphenbehörde ebenfalls für tunlichste Verringerung der Spannweite der letzteren Sorge. Bei Parallelführen von Starkstromleitungen mit Telegraphen- und Telephonleitungen müssen ebenfalls geeignete Schutzmaßregeln dann getroffen werden, wenn durch Umsturz eines Gestänges oder Zerreißen eines Drahtes Berührungen zwischen den beiden Arten von Leitungen zu befürchten sind.

*) Vergl. hierzu Fußnote S. 161.

VI. Der praktische Leitungsbau.*)

Von O. Otto und E. Stechern.

Unter einer Telegraphen- oder Fernsprechlinie versteht man den Leitungsdraht oder die Leitungsdrähte, die zur Verbindung zweier Telegraphenanstalten dienen, samt den Mitteln zu ihrer Isolierung und Befestigung.

Eine Telegraphen- oder Fernsprechleitung ist der Draht, der zur Verbindung zweier Ämter dient.

Das Gestänge umfaßt die Stangen samt ihren Verstärkungs- und Sicherungsmitteln sowie die Stützpunkte für die Leitung.

Die Anlagen sollen folgenden allgemeinen Bedingungen entsprechen:

Dauerhaftigkeit: Die Anlagen müssen dauerhaft hergestellt werden und die erforderliche Widerstandsfähigkeit gegen Witterungseinflüsse und mechanische Beschädigungen besitzen. Dazu ist die verständige Wahl der Konstruktionsteile, die Verwendung guter Materialien und die Befolgung bewährter Bauregeln nötig.

Leitungsfähigkeit: Die Leitung muß eine unmittelbare metallische Verbindung bilden, wobei besonders auf eine sorgfältige Herstellung der Lötstellen zu achten ist.

Isolation: Die Leitung muß ausreichend isoliert sein und darf zwischen den Stützpunkten bei blanker Führung mit Baumzweigen, Bauwerken und anderen leitenden Körpern nicht in Berührung kommen.

Aussehen: Die Anlagen sollen ein gefälliges Äußeres haben, besonders in den Städten und Ortschaften. Das Gestänge muß regel-

*) Vergl. ausführliche Angaben in: „Hilfsbuch für die Elektrotechnik", von Grawinkel und Strecker; „Telegraphenbauordnung", bearbeitet im Reichspostamt; „Handbuch zur Vorbereitung auf die Prüfungen der Telegraphenbeamten", von Noebels, Schluckebier und Jentsch usw.

mäßig aufgestellt, die Leitungen müssen gleichmäßig reguliert sein. In Städten sind Holzstangen zu hobeln und mit Ölfarbe anzustreichen, eiserne Träger, Gittermasten usw. dekorativ zu behandeln.

Beschädigungen müssen leicht aufzufinden und möglichst ohne Schädigung des Betriebes zu beseitigen sein.

A. Vorbereitungsarbeiten.

Sobald der für eine Anlage zu benutzende Weg bestimmt ist, muß die Auskundung der Anlage, d. h. die Feststellung der Aufstellungsorte für die Stangen oder Masten usw. im Benehmen mit Vertretern der in Betracht kommenden Behörden (bei Staats- oder Gemeindewegen) bezw. mit den Besitzern der Privatgebäude vorgenommen werden. In letzterem Falle sind die Vereinbarungen möglichst so zu treffen, daß der Bestand der Linie für alle Zeiten gesichert ist. Auch sind Abfindungen möglichst als Pauschsummen für ewige Zeiten zu vereinbaren (z. B. bei Ausästungen von Obstbäumen, Anbringung von Isolatoren usw. an Privatgebäuden und dergl.). Für die Herstellung elektrischer Anlagen kommen in Betracht: das „Gesetz über das Telegraphenwesen des Deutschen Reiches" vom 6. April 1892 und das „Telegraphenwegegesetz" vom 18. Dezember 1899.

Die Auskundung umfaßt:

1. die genaue Feststellung der Richtungslinie oder des Traktes,
2. die Ermittelung der genauen Länge der Linie und des hierdurch sowie durch die besonderen örtlichen Verhältnisse bedingten Materialbedarfs,
3. die Ermittelung aller sonstigen Verhältnisse, welche auf die Bauausführung oder Kostenveranschlagung von Einfluß sind,
4. die Beschaffung der Materialienlager.

Zu beachten ist, daß, soweit Eisenbahngelände in Betracht kommt, die Anlage in ihren sämtlichen Teilen außerhalb des Normalprofils, d. i. die Umgrenzung des lichten Raumes, der für die freie Bahnstrecke und die Gleise innerhalb der Stationen vorgeschrieben ist, geführt werden. Auch darf die Sehlinie zur Beobachtung optischer Signale nicht verdeckt werden. An Landstraßen sind die Anlagen so zu führen, daß Ausästungen möglichst vermieden bleiben. Bei Wegekreuzungen muß der tiefste Teil der Leitung so hoch — etwa 6 m — über der Erde liegen, daß die in der Gegend verkehrenden höchstbeladenen Lastwagen bequem darunter durchfahren können. Die Sohle der Entwässerungsgräben ist zum Aufstellen der Stangen nicht zu benutzen.

Zugänge zu Häusern und Höfen dürfen nicht versperrt, Fenster nicht verdeckt werden. Alle Wege und Bahngleise sind rechtwinklig und mit möglichst geringen Spannweiten zu überschreiten. Um in Störungsfällen ein schnelles Eingrenzen von Fehlern zu ermöglichen, sind in passenden Zwischenräumen Untersuchungsstellen einzurichten.

Zu beachten sind bei gemeinsamer Führung von Starkstrom- und Schwachstromanlagen oder bei Kreuzungen zwischen ihnen die darüber erlassenen besonderen Vorschriften.*)

Die von dem Verbande deutscher Elektrotechniker erlassenen, von Nachstehendem abweichenden „Vorschriften über die Herstellung und Unterhaltung von Holzgestängen für elektrische Starkstromanlagen" sind auf Seite 178 zusammengestellt.

B. Ausführungsarbeiten.

Die Ausführungsarbeiten werden zweckmäßig in nachstehender Reihenfolge erledigt:

1. Abpfählen der Linie. Die Stangenstandpunkte werden durch Markierpfählchen bezeichnet, die mit Farbstift fortlaufend numeriert und in das Abpfählbuch eingetragen werden. Dabei ist die Art des Stützpunktes und die Verwendung besonderer Materialien zu vermerken, damit auf Grund dieser Vermerke die noch fehlenden Materialien beschafft werden können.

2. Verteilen der Baumaterialien auf der Baustrecke: Hölzerne und eiserne Stangen, Gittermasten usw. werden für einen längeren Bauabschnitt verteilt. Die Stangen usw. sind so niederzulegen, daß sie den Verkehr nicht hindern und mit dem Fußende an dem Markierpfählchen liegen, damit sie beim Aufstellen nicht umgedreht zu werden brauchen. Isoliervorrichtungen werden zweckmäßig nur für den Tagesbedarf verteilt und so niedergelegt, daß sie den Augen der Vorübergehenden entzogen sind. Der Leitungsdraht ist erst kurz vor Beginn der Arbeiten zur Herstellung der Drahtleitung zu verteilen, und zwar gleichfalls für den Tagesbedarf — besonders Kupfer- und Bronzedraht, der wegen seines hohen Wertes leicht Diebstählen ausgesetzt ist.

3. Aufstellen der Stützvorrichtungen für die Leitungsdrähte: Die Stangenlöcher müssen so tief sein, daß die Stangen bei ebener Bodenfläche auf $^1/_5$, in Böschungen auf $^1/_4$, im Fels-

*) S. Lewerenz, „Hilfsbuch für die Telegraphen- und Fernsprechtechnik."

boden auf $^1/_7$ ihrer Länge in die Erde zu stehen kommen. Bei eisernen Ständern, Gittermasten mit breiten Fußpunkten usw. reichen geringere Einstellungstiefen aus. Die Stangenlöcher werden treppenförmig ge-

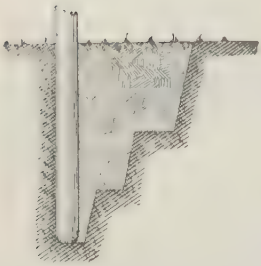


Fig. 208.

Fig. 209.

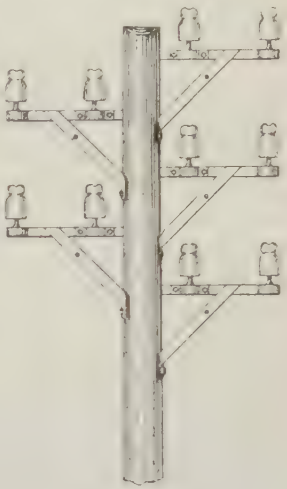


Fig. 210.

graben oder mit dem Erdbohrer gebohrt, in Felsboden gebrochen oder eingesprengt. Die Stange muß in einer Ecke des Loches gegen gewachsenen Boden sich anlehnen (Fig. 208). In Sand-, Moor- und Sumpf-

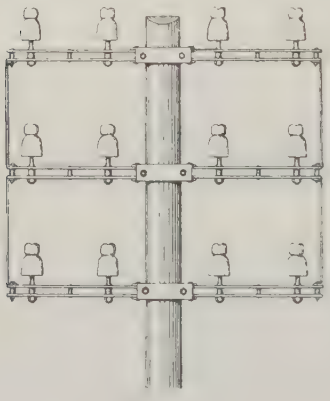


Fig. 211.

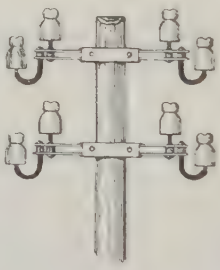


Fig. 212.

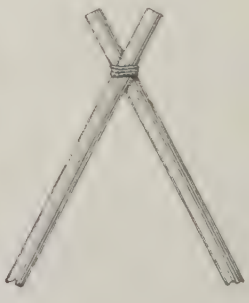


Fig. 213.

boden müssen die Lochwände durch leichte Bretter abgesteift werden. Die Ausrüstung der Stangen mit Isoliervorrichtungen hat vor der Aufstellung der Stangen zu erfolgen. Hakenförmige Schraubenstützen und Winkelstützen sind abwechselnd auf der einen und der anderen

Stangenseite (Fig. 209 und 210), Querträger stets auf der gleichen Stangenseite anzubringen (Fig. 211 und 212). Die Aufrichtung der Stangen wird wesentlich durch die Verwendung zweier scherenartig verbundener dünner Hilfsstangen erleichtert (Fig. 213).

4. Vornahme der erforderlichen Ausästungen. Die Ausästungen sollen mit Vorsicht und unter Schonung des guten Aussehens und der Ertragsfähigkeit (bei Obstbäumen) erfolgen und über das unbedingt nötige Maß nicht hinausgehen. Die Leitungsdrähte sollen mindestens 60, höchstens 100 cm von den Zweigen der angrenzenden Obstbäume entfernt sein, wobei auf Schneebelastung, Nachwachsen der Zweige und Bewegung durch Wind Rücksicht zu nehmen ist. Das Ausästen erfolgt vor dem Ziehen des Leitungsdrahtes. Nach Aufbringung der Drahtleitung wird gewöhnlich zur Erreichung des erforderlichen Abstandes und eines sauberen Aussehens ein Nachschneiden nötig (vergl. auch § 4 des „Telegraphenwegegesetzes").

5. Herstellung der Drahtleitung (wird im nächsten Abschnitte unter b behandelt werden).

C. Materialien.

a) Masten.

1. Hölzerne Masten. Zu hölzernen Masten werden die Stammenden verschiedener Nadel- und Laubhölzer verwendet, nämlich:

Die Kiefer (pinus silvestris). Das Holz hat stark ausgeprägte Jahresringe, sein Kern ist dunkelrot, der Splint mattrot gefärbt; die Rinde ist rotbraun und rissig. Die Kiefer wird bei weitem am häufigsten verwendet.

Die Fichte (pinus abies, abies excelsa), auch Rottanne und Schwarztanne genannt. Das Holz ist rötlichgelb; Kern und Splint sind in der Farbe wenig unterschieden; die Rinde ist rissig. Die Fichte ist zu Telegraphenstangen geeignet.

Die Tanne (pinus picea) auch Weißtanne, Edeltanne und Silbertanne genannt. Das Holz ist langfaserig, in Kern und Splint von der gleichen weißen, ins Gelbliche spielenden Farbe und wenig widerstandsfähig gegen den Wechsel von Trockenheit und Nässe, daher zu Telegraphenstangen wenig geeignet. Die Rinde ist glatt.

Die Lärche (pinus larix) kommt in größeren Beständen nur in Schlesien und Rußland (besonders in Sibirien) vor. Sie ist das festeste und dauerhafteste Nadelholz, daher zu Telegraphenstangen

hervorragend geeignet. Das Holz ist rötlich gefärbt, im Kern etwas dunkler als im Splint. Die Rinde ist rotbraun und sehr zerrissen.

Die Eiche (quercus robur), Sommereiche, Stieleiche und (quercus sessiliflora) Wintereiche, Steineiche kommt in Ausnahmefällen da in Betracht, wo sie billig zu haben ist. Eichenstämme, bei denen die Rinde zur Lohegewinnung schon vorher abgeschält war, sind für Telegraphenstangen ungeeignet.

Alle Hölzer sollen folgenden Anforderungen entsprechen: Sie sollen wirkliche Stammenden sein, in der Wadelzeit gefällt sein, von ganz gesunden Hölzern herrühren, keine Astlöcher und Spaltstellen besitzen und möglichst geraden runden Wuchs aufweisen. Sie werden für Telegraphen- und Fernsprechzwecke (für Starkstromzwecke s. S. 178) in Längen von 7, 8,5, 10 und 12 m hergestellt und sollen für Hauptlinien 15 cm, für Nebenlinien 12 cm Zopfstärke haben. Verjüngung vom Stammende zum Zopfende auf 1 m Länge 0,7—1 cm, Durchmesser am Stammende bei 7, 8,5, 10, 12 m langen Stangen 22, 23,5, 25, 27 cm. Gewicht: Stangen von 12 m ca. 200 kg, von 10 m 150 kg, von 8,5 m 125 kg, von 7 m 100 kg, bei 12 cm Zopfstärke 70 kg.

Eichene Stangen werden nicht getränkt. Die Verwendung ungetränkter fichtener oder kieferner Stangen empfiehlt sich nicht, da sie nur eine kurze Verwendungsdauer (4—5 Jahre) zulassen. Vielmehr sind für diese verschiedene Tränkungsmethoden im Gebrauch.

Tränkung mit Kupfervitriol (Verfahren nach Boucherie), am häufigsten angewendet. Die Stangen müssen spätestens 10 Tage nach dem Fällen dem Tränkungsverfahren unterworfen werden, andernfalls bis dahin unter Wasser lagern. In die Stangen wird eine Lösung von $1\,^1/_2$ Gewichtsteilen Kupfervitriol in 100 Gewichtsteilen Wasser durch hydrostatischen Druck (unter Verwendung eines hohen Holzgerüstes, auf dem der Mischbottich steht) oder durch unmittelbar wirkenden Dampfdruck hineingepreßt. Die Tränkung ist beendet, wenn blaue Flüssigkeit am Zopfende wieder austritt. Dies wird dadurch festgestellt, daß das Zopfende mit einer Lösung von gelbem Blutlaugensalz (1 Gewichtsteil auf 100 Teile Wasser) bestrichen wird, worauf sich eine rotbraune Färbung zeigen muß. Dauer der Tränkung, je nach der Länge der Stange, 8—14 Tage. Kosten für die Tränkung eines Kubikmeters Holz, das etwa 9,5 kg Kupfervitriol aufnimmt, 9—10 Mark. Die Stangen werden an der Luft getrocknet und nicht zu früh entrindet. Lebensdauer der Stangen 12—15 Jahre.

Tränkung mit Zinkchlorid: Die Stangen werden in einem

luftdichten Zylinder zwei Stunden lang heißen Wasserdämpfen ausgesetzt, worauf die Luft im Zylinder binnen 30 Minuten bis unter 523 mm Quecksilberstand verdünnt und in diesem Zustande 30 Minuten erhalten wird. Hierauf wird in den luftverdünnten Raum die Chlorzinklösung von 3° Beaumé eingeführt und ein Druck von sieben Atmosphären eine Stunde lang unterhalten. Zur Prüfung der getränkten Stange wird eine Scheibe abgeschnitten, mit Schwefelammonium behandelt, mit Essigsäure abgewaschen und mit einer sauren Lösung von salpetersaurem Bleioxyd bestrichen. Die Flächen färben sich dann, da Schwefelblei gebildet wird, schwarz. Lebensdauer der Stangen 8—12 Jahre.

Tränkung mit kreosothaltigem Teeröl: Die Stangen werden in die Tränkungskessel eingelegt; in letzteren wird die Luft auf weniger als 600 mm Quecksilberstand verdünnt. Nach 10 Minuten wird das angewärmte Teeröl unter dauernder Luftverdünnung eingefüllt und langsam erwärmt, so daß die Temperatur nach 3 Stunden 105 bis 110° Celsius beträgt. Diese Temperatur wird dann eine Stunde lang erhalten. Dadurch verdampft das Wasser aus dem Holze, wird in einer Kühlvorrichtung verdichtet, aufgefangen und gemessen. Sobald das Holz genügend ausgetrocknet ist, wird das Teeröl mit sieben Atmosphären Druck in das Holz gepreßt, bis das Holz für den Kubikmeter 300 kg Teeröl aufgenommen hat. Der Siedepunkt des aus Steinkohlenteer hergestellten Teeröls — spez. Gewicht nicht unter 1,0 und nicht über 1,1 — soll zwischen 200 und 400° liegen. Der Gehalt an sauren in Natronlauge von 1,15 spez. Gewicht löslichen Bestandteilen muß wenigstens 10 % betragen. Lebensdauer der Stangen 20 bis 30 Jahre.

Tränkung mit Quecksilbersublimat (Kyanisierung): Die Stangen werden in großen Bottichen 10—14 Tage lang in eine Lösung von 1 Teil Sublimat auf 100 Teile Wasser gelegt und dann getrocknet. Lebensdauer bis 20 Jahre.

Alle Stangen werden am Zopfende dachartig abgestumpft und zweimal mit heißem Steinkohlenteer angestrichen, der vor dem Erkalten des zweiten Anstriches mit feinkörnigem Sande bestreut wird. Dadurch soll ein Eindringen von Feuchtigkeit in die Stangen vermieden werden (Fig. 214). Die Stammenden werden zur Verhütung von Schwamm- und Pilzbildung an den Stangen mit einem Anstriche von Karbolineum oder Karbolineum mit Teer versehen, und zwar etwas höher hinauf, als die Stange später im Erdboden zu stehen kommt. Die Reichstelegraphenverwaltung versieht ihre Stangen 3,5 m

vom Stammende entfernt mit Brennstempeln (Fig. 215—218) und zwar folgen von oben nach unten die Bezeichnungen T V (Telegraphenverwaltung), ein Buchstabe, der die Zubereitungsart kennzeichnet, nämlich:

B Behandlung der Stange mit Kupfervitriol (Boucherieverfahren),
Z Behandlung der Stange mit Zinkchlorid,
Cr Behandlung der Stange mit kreosothaltigen Teerölen,
K Behandlung der Stange mit Quecksilbersublimat (Kyanisierung)

und je nach der Zopfstärke der Stange die Zahl I (bei 15 cm) und II (bei 12 cm). Nach dem Einstellen der Stangen in die Linie

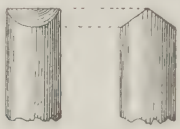


Fig. 214.

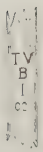


Fig. 215.

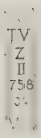


Fig. 216.

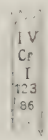


Fig. 217.

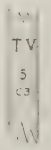


Fig. 218.

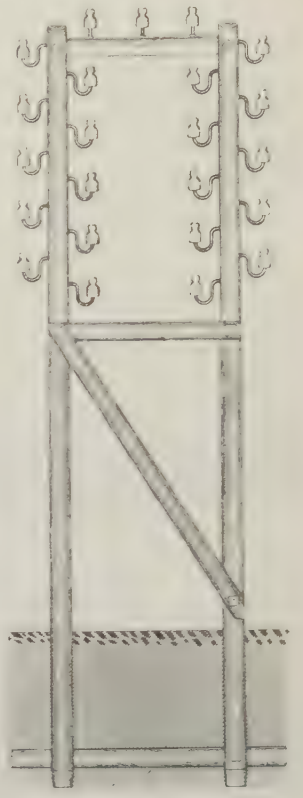


Fig. 219.

werden auf der Vorderseite noch die laufende Nummer und das Einstellungsjahr angegeben. Auf unzubereiteten Stangen werden nur die Bezeichnung T V, die Nummer und das Einstellungsjahr angegeben*).

Bedarfssätze: Der Abstand der Stangen soll bei großen Anlagen auf gerader Strecke 60—75 m, bei kleinen Anlagen bis 100 m betragen, in Kurven entsprechend weniger. Es werden also für 1 km bei großen Anlagen 13—17, bei kleinen 10 Stangen gebraucht.

*) Der Verband Deutscher Elektrotechniker verlangt (E. T. Z. 1903, S. 682), daß auf den Starkstrommasten angegeben sei: a) Jahr der Aufstellung, b) fortlaufende Nummer, c) Art der eventuellen Imprägnierung. C = Kupfervitriol. Q = Quecksilberchlorid. K = Kreosot.

Doppelgestänge und Dreifachgestänge (statische Berechnung S. 192). Die zu Mehrfachgestängen zu vereinigenden Stangen werden oben, in der Mitte und unten durch Querriegel verbunden und außerdem noch mit Diagonalstreben (Fig. 219) versehen. Die einzelnen Stangen stehen 1,3—1,5 m voneinander entfernt, die von ihren Achsen gebildete Ebene steht senkrecht zur Drahtleitung. Diagonalstrebe und Mittelriegel können auch durch eiserne Kreuzverstrebungen aus Stab- oder Winkeleisen ersetzt werden, was aber kost-

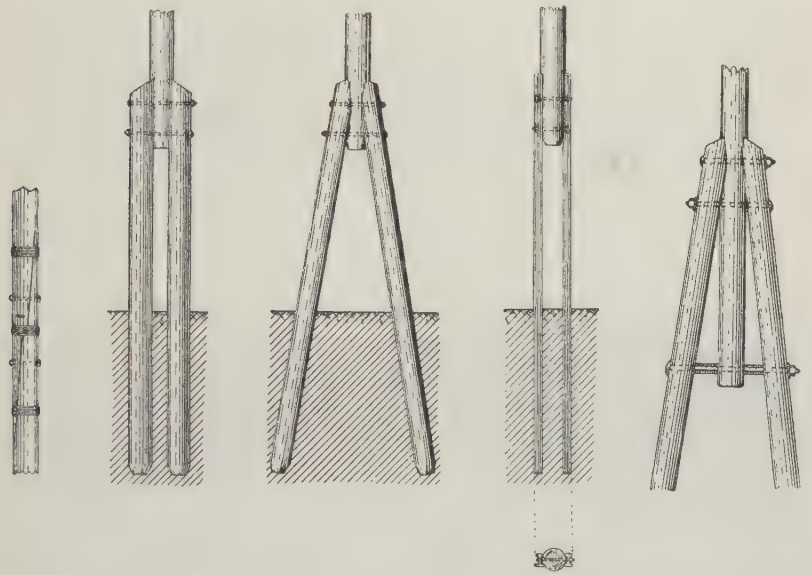


Fig. 220. Fig 221. Fig. 222. Fig. 223. Fig. 224.

spieliger ist als die Verwendung von Holzriegeln. Die Gestänge werden mit hakenförmigen Schraubenstützen, Winkelstützen oder eisernen Querträgern ausgerüstet. In letzterem Falle fällt der obere Querriegel fort.

Verlängerte Stangen und Stangen mit eisernen Rohraufsätzen: Wenn die gebräuchlichen Stangenlängen zum Überschreiten hoher Gegenstände, zum Kreuzen vorhandener Leitungen, zur Schonung wertvoller Bäume und dergleichen nicht ausreichen, so können verlängerte — angeschuhte — Stangen oder solche mit Eisenrohraufsätzen verwendet werden. Die einfachste Form verlängerter Stangen ist die, daß man zwei Stangen, von denen die obere die kürzere sein muß, in der aus Fig. 220 ersichtlichen Weise

ausschneidet, ineinander paßt und mittels eiserner Bolzen mit Köpfen, Unterlagscheiben und Muttern, sowie durch Drahtbunde oder Eisenringe aneinander befestigt. Derart angeschuhte Stangen haben eine geringe relative Festigkeit und können nur im Notfall und in gerader Linie Verwendung finden. Für Winkelpunkte empfiehlt sich die Herstellung von Stangen nach den Fig. 221 und 222, oder auch die in Fig. 223 angedeutete Verlängerung mittels eiserner Schienen (alte Eisenbahnschienen u. dergl.). Unter besonders ungünstigen Verhältnissen ist von der in Fig. 224 dargestellten Bauart Gebrauch zu machen. Bei dieser wird die Aufsatzstange zwischen den Zopfenden zweier zu einem Doppelständer verbundenen Stangen mit drei Schraubenbolzen befestigt. — Für die Anbringung von eisernen Aufsatzrohren eignen sich nur gerade und besonders kräftige Stangen. Die Rohre werden mit zwei starken Schellen an den Stangen befestigt, nachdem diese zuvor an der Stelle, wo das Rohrstück angelegt werden soll, der Rundung des Rohres entsprechend etwas ausgekehlt worden sind (Fig. 225).

Fig. 225.

Verstärkte Stützpunkte: Zur Erhöhung der Standfestigkeit einer Telegraphenlinie ist es erforderlich, die Stellung derjenigen Stangen, welche durch Zug oder Druck auf ihre relative (oder Biegungs-)Festigkeit beansprucht werden, besonders zu sichern. Es sind dies Stangen, die einen besonders starken Drahtzuge (z. B. in Winkelpunkten) ausgesetzt sind, die auf steil abfallenden Bergabhängen stehen, Stangen, an denen stärkere und schwächere Drähte miteinander verbunden sind oder die der Einwirkung von Winddruck, Schneebelastung und dergleichen besonders ausgesetzt sind. Zur Sicherung der Linie an solchen Stellen müssen entweder die gewöhnlichen Stangen mit Verstärkungsmitteln — Streben oder Ankern — versehen werden oder in sich verstärkte Stangen — Doppelständer, gekuppelte Stangen — errichtet werden, deren weitere Verstärkung noch durch Streben oder Anker geschehen kann.

Die Verstärkungsmittel erfüllen ihren Zweck am besten, wenn sie derart angebracht werden, daß dem auf die Stange ausgeübten wagerechten Druck (Drahtzug, Winddruck) eine diesem gleiche Kraft in umgekehrter Richtung entgegenwirkt. Hierzu ist nur dann Ge-

legenheit, wenn in der Nähe der zu verstärkenden Stange und in der Richtung der Gegenkraft Felswände, starke Mauern, Häuser, Brückenpfeiler usw. zur Anbringung der Verstärkung benutzbar sind. In Ermangelung solcher Widerlager muß der Fußpunkt des Verstärkungsmittels meist in den Boden gelegt werden, so daß Strebe oder Anker nicht senkrecht, sondern schräg zur Längsachse der Stange stehen.

Beim Anker beruht die Gegenkraft in der absoluten Festigkeit des Materials, d. h. in dem Widerstande, welchen der Ankerdraht in seiner Längsrichtung einer auf Zerreißen wirkenden Kraft (dem Zuge) entgegengesetzt (Berechnung S. 190).

Bei der Strebe liegt die Gegenkraft in der rückwirkenden Festigkeit des Strebenmateriales, d. h. in dem Widerstande gegen eine Kraft, die in der Längsrichtung der Strebe auf deren Zerdrücken wirkt (Berechnung S. 191).

Die Anforderungen an die Festigkeit des Verstärkungsmittels sind um so größer, je mehr Leitungen die Linie enthält, je spitzer der Winkel ist, den die Linie an der zu verstärkenden Stange bildet und in dem das Verstärkungsmittel an der Stange angreift, sowie je tiefer der Befestigungspunkt des Verstärkungsmittels an der Stange unterhalb des Angriffspunktes des Drahtzuges liegt.

Als allgemeine praktische Regel kann man gelten lassen, daß der Winkel zwischen der Stange und dem Verstärkungsmittel nicht kleiner als 30^0 und nicht größer als 45^0 sein soll. Im allgemeinen kann man der Strebe, ihre richtige Aufstellung vorausgesetzt, den Vorzug geben, weil Holz insofern einen gleichmäßigeren Widerstand leistet, als es nicht leicht eine merkbare Formveränderung erleidet, während der zum Anker gewöhnlich verwendete Eisendraht infolge der bei höherer Lufttemperatur stattfindenden Ausdehnung nachgibt und dadurch eine schädliche Bewegung der Stange zuläßt. Außerdem gestattet die größere Elastizität des Eisendrahts bei veränderlicher Belastung der Stange, wie z. B. bei stoßweise wirkendem Winde u. dergl., eine nachteilige Bewegung des ganzen Gestänges.

Strebe und Anker können auch gemeinsam benutzt werden.

Strebe: Die Stärke der Strebe ist dem Durchmesser der Stange möglichst anzupassen (Fig. 226). Die Strebe wird oben, der Rundung der Stange entsprechend, etwas ausgekehlt und mit 2 Schraubenbolzen an ihr befestigt. Die Einbettung der Strebe in den Erdboden kann je nach der Festigkeit des Erdreiches und je nach der Größe des Druckes, den die Stange mit ihrer Drahtbelastung auf die Strebe ausübt, verschieden bewirkt werden. In vielen Fällen wird es bei einigermaßen

festem Boden genügen, den Fuß der Strebe gegen einen möglichst viel Druckfläche bietenden, senkrecht zur Achse der Strebe eingegrabenen flachen Stein zu stützen (Fig. 226) oder ein Stück Kreuzholz unterzulegen, das durch einen davor senkrecht eingetriebenen Pfahl vor Verschiebung geschützt ist (Fig. 227). Die Widerstandskraft der Strebe wird wesentlich verstärkt, wenn zwischen der Stange und der Strebe noch eine Querverbindung hergestellt wird, wie sie an Fig. 226 angedeutet ist.

Anker: Zwei oder mehrere 4 mm starke verzinkte Eisendrähte werden oben um einen in die Stange getriebenen Ankerhaken, unten um

Fig. 226.

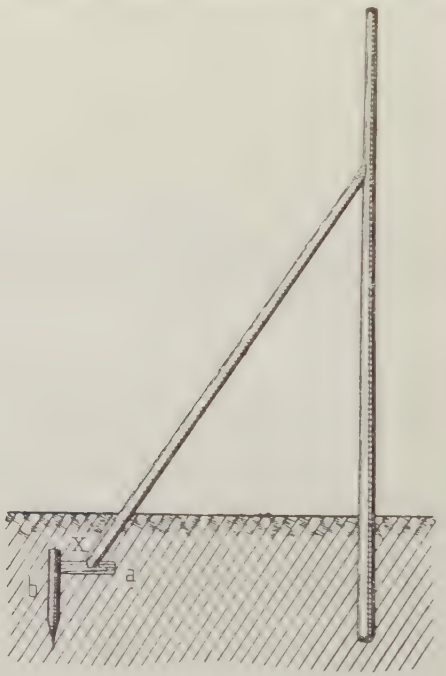


Fig. 227.

einen angespitzten Ankerpfahl geschlungen (Fig. 228). Der Ankerpfahl wird soweit wie möglich in die Erde getrieben. Alsdann wird zwischen die Ankerdrähte ein Holz- oder Eisenpflock gesteckt und so lange gedreht, bis die Drähte genügend verseilt, also der Anker straff genug gespannt ist. An Stelle des Ankerpfahles können auch ein Ankerstein oder ein Stück Langholz mit daran befestigten Pfählen oder eine Kreuzholzverbindung oder auch ein Erdbohrer mit Öse verwendet werden. Wenn feste Gegenstände, wie Felswände, gute und ausreichend starke Mauern u. dergl. vorhanden sind, so kann der Fuß-

punkt des Ankers auch in der Weise festgelegt werden, daß eine Steinschraube mit Öse in das Mauerwerk usw. eingelassen und der Ankerdraht in dieser Öse befestigt wird. Lebende Bäume sind als Fußpunkte für Anker nicht verwendbar.

Doppelständer: Wenn die Verstärkung einer im Winkelpunkte, in starker Krümmung oder sonst an ungünstiger Stelle stehenden Stange durch eine Strebe oder einen Anker aus Mangel an Raum nicht ausführbar ist, oder eine einfache Stange nicht widerstandsfähig

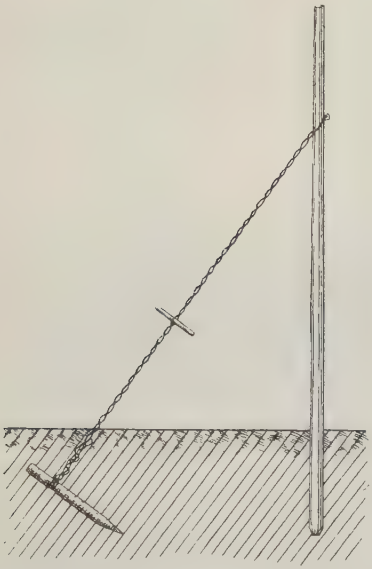


Fig. 228.

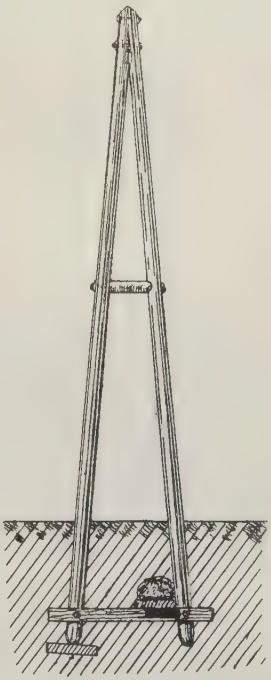


Fig. 229.

genug ist, so verwendet man einen Doppelständer. Zu diesem Zwecke werden 2 gleich lange und starke Stangen oben etwas abgeschrägt, so daß sie einen spitzen Winkel miteinander bilden (Fig. 229), und durch Schraubenbolzen verbunden. Die Stangen werden in der Mitte und unten mit Querriegeln versehen. Um zu verhüten, daß die nach der Richtung des Drahtzuges ausladende Stange des Doppelständers in den Boden gedrückt und gleichzeitig die andere Stange herausgehoben wird, legt man unter das Fußende der ersteren Stange ein Bohlenstück oder einen Stein und beschwert den dem Drahtzug ab-

gewandten Teil des unteren Querriegels mit einem Holzstück oder einem Stein.

Gekuppelte Stangen: Zwei Stangen werden nach Behobelung der beiden anstoßenden Stangenseiten in ihrer ganzen Länge dicht aneinander gestellt und durch mehrere Bolzen miteinander verbunden (Fig. 230). Gekuppelte Stangen werden zweckmäßig da gebraucht, wo Doppelständer u. dergl. einen unschönen Eindruck gewähren würden, also in Städten, oder wo ein stärkerer Drahtzug, Winddruck usw. vorhanden ist, es aber an Raum zur Aufstellung eines Doppelständers oder zur Anbringung von Streben und Ankern fehlt.

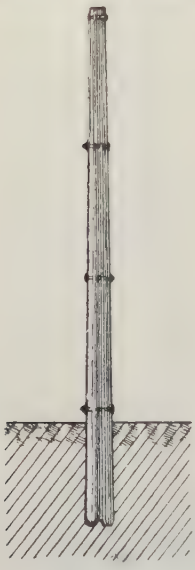


Fig. 230.

Fig. 231.

Fig. 232.

Sicherung des Gestänges: Die Sicherungsmittel haben den Zweck, Stangen, Streben und Anker gegen äußere Beschädigungen zu schützen, die entweder durch Anfahren von Fuhrwerken, durch weidendes Vieh und dergl., oder durch Entladungen atmosphärischer Elektrizität entstehen können. Zur Verwendung kommen Prellsteine Prellpfähle, Scheuerböcke und Erdleitungen. Prellsteine und Prellpfähle (Fig. 231 und 232) werden auf 75—90 cm Tiefe vor der gefährdeten Stange so eingegraben und festgestampft, daß sie nach oben gegen die Stange neigen, aber von ihr mindestens 10 cm oben entfernt sind, damit sich der Stoß des Fuhrwerks nicht auf die Stange übertragen kann. Scheuerböcke sollen das weidende Vieh, das

sich erfahrungsgemäß gern an den Ankerdrähten scheuert, fernhalten und dadurch ein Schwingen der Drähte, Berührungen und Verschlingungen derselben verhüten. Zu diesem Zwecke werden zwei Stangenenden so über den Anker gesetzt, daß er sich zwischen den Schenkeln dieses Bockes befindet, ohne ihn zu berühren (Fig. 233). Frei im Weidelande stehende Stangen sind gegen Beschädigungen durch das Vieh in der Weise zu schützen, daß man sie in gleichmäßigen Abständen mit 3—6 genügend langen, in den Erdboden einzutreibenden Stangenabschnitten umgiebt (Fig. 234).

Fig. 233.

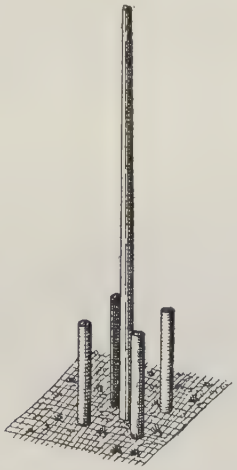


Fig. 234.

Zum Schutze der Stangen gegen Blitzgefahr können die Drahtanker nutzbar gemacht werden. Zu diesem Zwecke wird die Stange mit einem das Zopfende um 15 cm überragenden und so als Auffangespitze dienenden Drahte versehen, der mit dem Drahtanker verbunden wird. Wo kein Anker vorhanden ist, wird der Draht bis zum Fußpunkte der Stange herabgeführt und endigt hier in einem Drahtringe.

Über die Herstellung und Unterhaltung von Holzgestängen für elektrische Starkstromanlagen hat der Verband deutscher Elektrotechniker folgende besondere Bestimmungen erlassen:*)

*) E. T. Z. 1903, S. 682.

Stangen mit geringerer Zopfstärke als 15 cm sind nur für Niederspannung bis 250 Volt gegen Erde zulässig. Stangen für Hochspannung müssen mindestens 18 cm Zopfstärke haben.

Die Stangen sind je nach der Bodengattung und Länge entsprechend tief — mindestens 1,5—2,5 m — einzugraben (in weichem Boden einzubetonieren) und in allen Winkelpunkten zu verstärken, zu verankern oder zu verstreben. Wenn die Wahl der Straßenseite frei steht, so empfiehlt sich die Benutzung der Ostseite, weil dann die durch den am häufigsten auftretenden Weststurm eventuell umgeworfenen Stangen nicht auf die Straße fallen.

Bei Leitungen, welche häufigen Stürmen ausgesetzt sind, soll auch in geraden Strecken jede fünfte Stange mit Verankerungen derart versehen sein, daß ein Auffallen der Stangen auf die Verkehrswege infolge von Stangenbrüchen möglichst ausgeschlossen wird.

Für die Standpunkte der Stangen dürfen in geraden Strecken nachfolgende Maximalabstände nicht überschritten werden:

Für Linien mit einem Gesamtquerschnitte der Leitungsdrähte und Schutzdrähte

von 100 bis 200 qmm	45 m,
von 200 bis 300 qmm	40 m,
darüber	35 m.

In Kurven, bei Kreuzungen mit anderen elektrischen Leitungen, mit Eisenbahnen und bei Wegüberführungen müssen die Stangenabstände entsprechend geringer gewählt werden.

An Straßen- und Wegübergängen muß bei Hochspannungsleitungen auf jeder Seite der Straße eine Stange stehen, deren Umfallen auf die Straße durch Verstärkung der Verankerung oder Verstrebung möglichst zu verhindern ist. Ist der Gesamtquerschnitt der Leitungen größer als 300 qmm oder muß infolge besonderer Umstände, wie z. B. bei Flußübergängen, zu größeren Stangenabständen als oben angegeben gegriffen werden, so sind entweder Stangen von stärkeren Abmessungen oder gekuppelte Stangen anzuwenden.

Da Holzstangen durch Feuchtigkeit am stärksten an jener Stelle angegriffen werden, wo sie aus dem Boden herauskommen, so hat man nach Konstruktionen gesucht, bei denen der Holzmast kurz über dem Boden endet und in eine Eisenkonstruktion aus U-Eisen oder Eisenbahnschienen eingelassen ist, welche als Haltefuß dient. Vergl. hierzu: Herzog und Feldmann, Zeitschr. d. Ver. d. Ing. 1901, S. 665.

2. Eiserne Masten. Allgemeine Bestimmungen über die Beschaffenheit und Verwendung von Eisen- und Stahlmaterialien:*) Die Eisenmaterialien müssen aus bestem Schmiede- bzw. Gußeisen, die Stahlmaterialien aus bestem schmiedbaren Stahle hergestellt sein. Die fertigen Stücke dürfen an den Kanten keine Risse, Brüche, Abblätterungen oder sonst fehlerhaften Stellen zeigen, insbesondere dürfen zu Rohrständern nur völlig fehlerfreie Rohrstücke benutzt werden. Die einzelnen Teile müssen in sauberer Arbeit ausgeführt, alle Schraubengewinde müssen scharf, gleichmäßig und in der vorgeschriebenen Tiefe eingeschnitten sein. Die Wandstärke von Rohrständern darf an den Gewindeteilen der Rohre nur in dem durch die vorgeschriebene Gangtiefe der Gewinde bedingten Umfange vermindert werden. Schellen und Ziehbänder müssen eine dem Rohrständer genau entsprechende Weite haben. Schraubenbolzen müssen fest ansitzen, mit

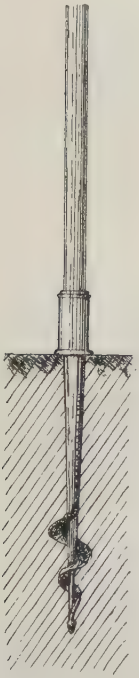


Fig. 235.

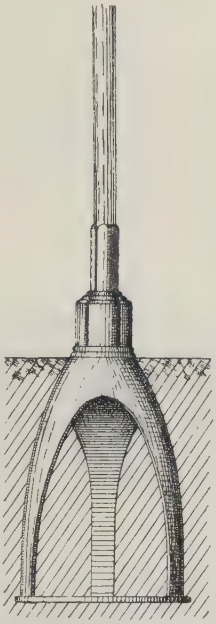


Fig. 236.

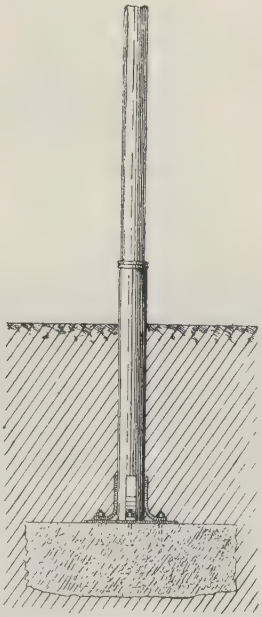


Fig. 237.

*) „Vorschriften für Lieferungen von Eisen und Stahl", aufgestellt vom Verein deutscher Eisenhüttenleute in „Des Ingenieurs Taschenbuch", herausgegeben vom Verein „Hütte". 16. Aufl., Band 1, S. 902ff.

genügend großen Köpfen und starken Muttern versehen sein. Vor ihrer Verwendung werden die Eisen- und Stahlmaterialien mit einem dauerhaften Anstriche von einem guten Rostschutzmittel, wie Diamantfarbe, Asphaltlack usw., überzogen.

Zu eisernen Stangen werden in Stark- und Schwachstromanlagen auf ebener Erde eiserne Rohre, einfaches und doppeltes T-Eisen und Gittermasten, auf Dächern Rohrständer verwendet. Bei festem Erdboden kann man die eisernen Stangen in einer am oberen Ende mit einer Muffe versehenen gußeisernen Erdschraube mittels Einbleiens

Fig. 238.

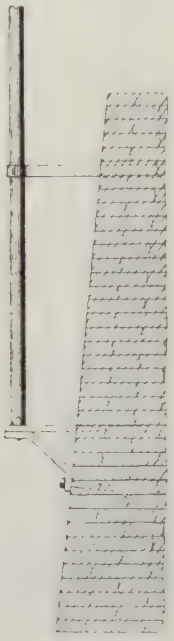


Fig. 239.

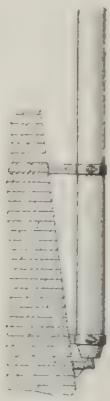



Fig. 240.

oder eiserner Keile befestigen und die Schraube in den Erdboden eindrehen (Fig. 235). Bei leichtem Sand- oder Lehmboden wird ein eiserner Dreifuß verwendet, der zur Aufnahme der Stange oben einen Stiefel hat (Fig. 236). Auch Gittermasten haben oft solche oder eine ähnliche Bauart an ihrem Fußpunkte. Ferner wird häufig eine Fundierung aus Stein oder Beton gewählt, worin der Rohrständer oder Mast unmittelbar eingesetzt und mit Zement befestigt wird (Fig. 237). Von der Einsetzung in Stein wird auch auf Brückenpfeilern und ähnlichen Bauwerken Gebrauch gemacht. An Brückengeländern und freistehenden Mauern werden die Stangen und Rohr-

ständer gewöhnlich mit Schellen befestigt (Fig. 238); auch wird der Ständer usw. häufig, um sein Durchgleiten durch die Schellen zu verhindern, gleichzeitig noch auf einen eisernen Dorn gestellt (Fig. 239 und 240). In den Kolonien werden eiserne Röhren ohne Naht —

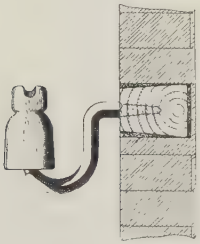


Fig. 241.

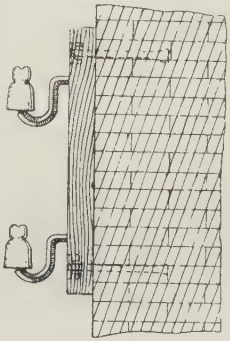


Fig. 242.

nach dem Mannesmannschen Walzverfahren hergestellt — verwendet. Die Röhren werden unten zu einer Spitze zugeschmiedet und oben mit einer Platte oder einem Verschlußknopfe bedeckt.

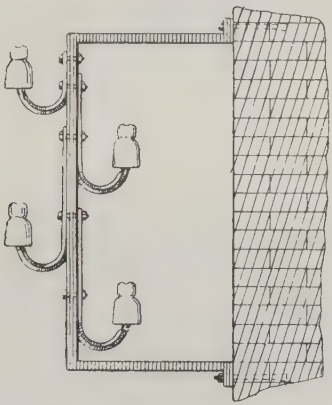


Fig. 243.

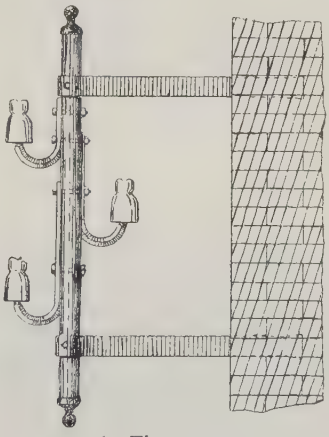


Fig. 244.

Mauerstützen und Mauerbügel: Die einfachste Art der Befestigung einer Isoliervorrichtung am Mauerwerke besteht in der Einmauerung eines Dübels aus hartem Holz, in den eine gewöhnliche hakenförmige Schraubenstütze mit Isolator einzuschrauben ist (Fig. 241). Mehrere solche Schraubenstützen lassen sich dann am besten anbringen, wenn an dem Mauerwerk ein starkes Bohlenstück

mittels Steinschrauben befestigt ist (Fig. 242). Die Herstellung von Mauerbügeln aus Flacheisen oder Rundeisen usw. richtet sich ganz

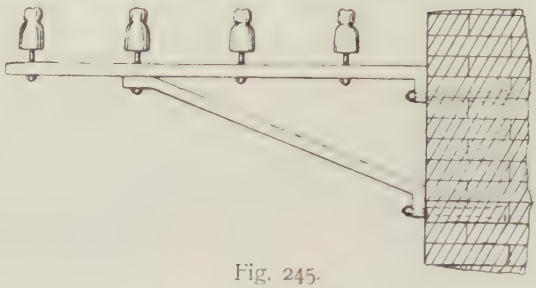


Fig. 245.

nach den örtlichen Verhältnissen. Einen schmiedeeisernen Mauerbügel aus Flacheisenschienen zeigt Fig. 243. Häufig ist es zweck-

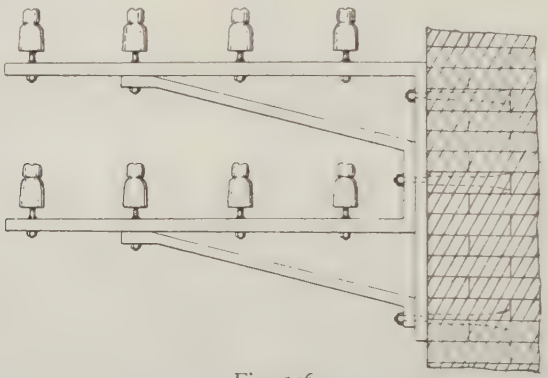


Fig. 246.

mäßig, nur die Querstützen aus Flacheisen zu wählen und im Mauerwerke zu befestigen, zur Anbringung der Isolationsvorrichtungen aber

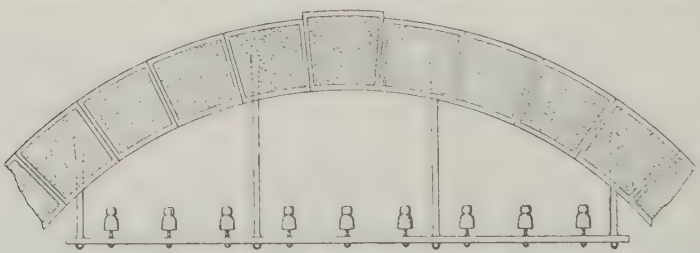


Fig. 247.

ein Rohr zu nehmen (Fig. 244), das bei einer Vermehrung der Leitungen ohne Umstände und ohne Beschädigung des Mauerwerkes aus-

gewechselt werden kann. Ein derartiges Rohr ist zweckmäßig, wenn der Platz für die Führung der Leitungen in der Längenrichtung vorhanden, in der Breitenrichtung aber beschränkt ist. Wenn die Verhältnisse umgekehrt liegen, so werden ein oder mehrere weit ausladende Träger aus Flacheisenschienen verwendet (Fig. 245 und 246). Bei der Führung durch Brücken und Tunnels ist — wenn nicht die unterirdische Verlegung vorgezogen wird — darauf zu achten, daß der lichte Raum durch die Leitungen nicht beengt wird. In den meisten Fällen wird die Führung an der höchsten Stelle des Gewölbes die zweckmäßigste sein (Fig. 247).

Rohrständer auf Dächern: Bei Aufstellung von Rohrständern ist die Lage des Hauses im Linienzug und die Art des Daches in Betracht zu ziehen. Die Rohrständer sollen nicht an Giebelwänden oder in unmittelbarer Nähe von Schornsteinen und Luftschächten angebracht werden, da dann die Bewohner durch das Tönen der Leitungen belästigt werden. Vielmehr müssen die Rohrständer am Holzwerke der Dachstühle, das u. U. zu verstärken ist, befestigt werden, und zwar so, daß der Dachverband durch den von den Leitungen auf den Stützpunkt ausgeübten Zug in keiner Weise gefährdet wird. Alle Riegel und Hilfskonstruktionen sind aus trockenem Holze von genügender Stärke herzustellen und durch kräftige Schrauben, Bolzen, Klammern usw. untereinander und mit dem Dachgebälk in unwandelbar feste Verbindung zu bringen.

Der Rohrständer wird oben durch einen Verschlußknopf geschlossen, mittels Schellen und Schraubenbolzen, die durch das ganze Dachgebälk durchgreifen und durch Muttern nebst Unterlegescheiben zu sichern sind, befestigt und ruht unten auf einem eisernen Dorn.

Längere Rohrständer werden in 2 Teilen hergestellt. Das Rohrständeroberteil wird mittels Schraubengewindes in dem das Muttergewinde führenden Unterteil eingefügt. Die Verbindungsstelle wird mit Mennige gedichtet. Um die Übertragung des Tönens der Leitungsdrähte durch die Stützpunkte auf die Gebäudeteile zu verhüten, werden die Rohrständer innen mit Asche oder trockenem feinen Sand ausgefüllt; auch werden zwischen Schellen und Dachgebälk Filzplatten eingelegt. Die Rohrständer dürfen nicht bis auf den Fußboden des Daches reichen.

Als Material wird Schmiedeeisen oder nahtlos nach dem Mannesmannverfahren gewalzter Siemensmartinstahl genommen. Wandstärke 4—5 mm, äußerer Durchmesser 67—75 mm. Jeder Rohrständer erhält eine Schelle zur Aufnahme des Blitzableiterseiles. Fig. 248 zeigt

einen Rohrständer mit Verschlußknopf und Blitzableiterschelle — der untere Einschnitt paßt in einen Dorn, während Fig. 249 eine zur Befestigung des Rohrständers dienende Schelle nebst Dorn — den sogenannten Schuh, der den Rohrständer trägt — darstellt.

Wenn es sich um wenige Leitungen handelt, so können auch kleine Ständer aus Rundeisen gewählt werden, die sich leicht auf jedem Dache aufsetzen und verankern lassen (Fig. 250).

Fig. 248.

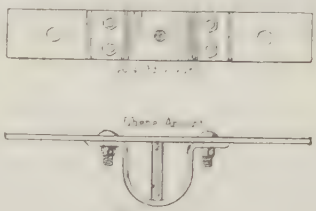


Fig. 249

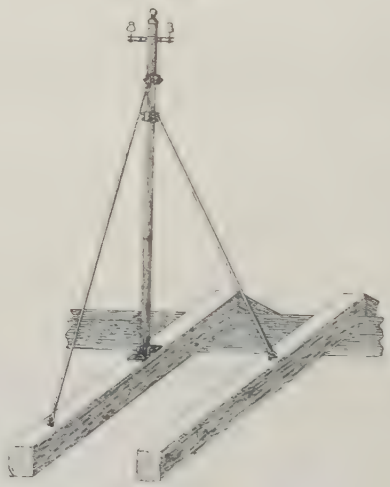


Fig. 250.

Zur Verstärkung eiserner Dachgestänge werden — ebenso wie bei den Holzgestängen — Anker und Streben verwendet. Doppel- und Mehrfachgestänge werden daneben mit Diagonalstreben versehen.

Anker werden aus fabrikmäßig hergestellten Stahldrahtseilen — gewöhnlich aus 4 Seilen zu je 7 Stahllitzendrähten von 1,5—2 mm Durchmesser — zusammengedreht oder aus Rundeisen von 15—30 mm Stärke angefertigt.

Zu Streben werden I-, T- und U-Eisen verwendet, deren Abmessungen nach Maßgabe ihrer Beanspruchung festzusetzen sind;

dabei werden die deutschen Normalprofile zugrunde gelegt (vergleiche nachstehende Tabelle und bezüglich der Gewichte, Trägheitsmomente usw. „Des Ingenieurs Taschenbuch", Band 1, S. 879 ff.).

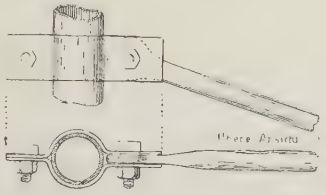
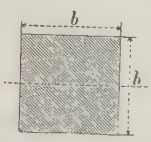
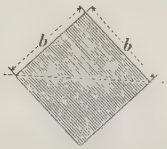
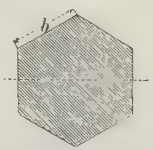
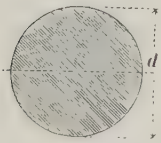
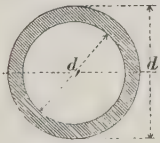
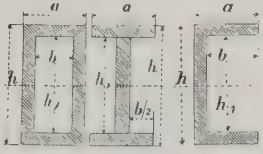
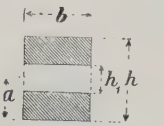
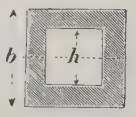


Fig. 251.

Die Befestigung von Ankern und Streben an den Rohrständern erfolgt mittels schmiedeeiserner Schellen mit Bolzen (Fig. 251).

$I = \frac{bh^3}{12}$ $\frac{I}{a} = \frac{bh^2}{6}$	 $I = \frac{b^4}{12}$ $\frac{I}{a} = \frac{b^3}{6}$	 $I = \frac{b^4}{12}$ $\frac{I}{a} = 0{,}118 \cdot b^3$	 $I = 0{,}5413 \cdot b^4$ $\frac{I}{a} = 0{,}5413 \cdot b^3$
 $I = 0{,}0491\, d^4$ $\frac{I}{a} = 0{,}0982 \cdot d^3$	 $I = 0{,}0491\,(d^4 - d_1^4)$ $\frac{I}{a} = 0{,}0982 \cdot \frac{d^4 - d_1^4}{d}$	$I = 0{,}0491 \cdot bh^3$ $\frac{I}{a} = 0{,}0982 \cdot bh^2$	$I = 0{,}5413 \cdot b^4$ $\frac{I}{a} = 0{,}625\, b^3$
 $I = \frac{1}{12}\,(ah^3 - bh_1^3)$ $\frac{I}{a} = \frac{1}{6h}\,(ah^3 - bh_1^3)$	 $I = \frac{b \cdot (h^3 - h_1^3)}{12}$ $\frac{I}{a} = \frac{b \cdot (h^3 - h_1^3)}{6 \cdot h}$	 $I = \frac{1}{12}\,(b^4 - h^4)$ $\frac{I}{a} = \frac{1}{6b}\,(b^4 - h^4)$	

Zur Herstellung eines sicheren und bequemen Zuganges zu den Rohrständern sind erforderlichenfalls geeignete Aussteigeöffnungen her-

zustellen, zu denen innerhalb des Bodens Leitern führen. Von der Aussteigeluke zum Rohrständer sind Laufbretter anzulegen, während der Rohrständer, damit man an ihm bequem arbeiten kann, ein auf schmiedeeisernen Trägern ruhendes Trittbrett erhält. Bei hohen Rohrständern müssen vom Dache bis zum Trittbrette Steigeisen angebracht werden.

Besondere Sorgfalt ist auf diejenigen Stellen zu richten, an denen die Rohrständer, Streben, Anker, Blitzableiterseile usw. aus den Dächern heraustreten. Diese Stellen sind unter Verwendung von Blei- oder Zinktüllen so zu dichten, daß Feuchtigkeit auf den Hausboden nicht gelangen kann.

3. Mastberechnung: Die Tabelle auf Seite 185 gibt die äquatorialen Trägheitsmomente (I) und Widerstandsmomente $\left(W = \frac{I}{a}\right)$ der gebräuchlichen Querschnitte (a = Abstand der von der Drehachse am weitesten entfernten Faser).*)

Für Hölzer sind die Festigkeitszahlen (nach J. Bauschinger und L. Tetmajer) wesentlich abhängig vom Feuchtigkeitsgehalt. Die Festigkeit nimmt mit wachsender Feuchtigkeit erheblich ab; mit zunehmender Lagerungszeit vergrößert sich die Druckfestigkeit bedeutend. — Die nachfolgenden Angaben beziehen sich auf den ganzen Querschnitt (Kernholz und Splintholz zusammen).**)

Art der Beanspruchung	Feuchtigkeitsgehalt in Proz.	Elastizitätsmodul E	Proportionsgrenze σp	Bruchfestigkeit kg/qcm K	Feuchtigkeitsgehalt in Proz.	Elastizitätsmodul E	Proportionsgrenze σp	Bruchfestigkeit kg/qcm K
	Kiefer				Eiche			
Zug . . .	13	90000	—	790	—	108000	475	965
Druck . . .	18	95000	155	280	—	103000	150	345
Biegung[1]). .	23	108000	200	470	24	100000	215	600
Schub[2]) . .	25	—	—	45	—	—	—	75
	Fichte				Buche			
Zug . . .	16	92000	—	750	—	180000	580	1340
Druck . . .	19	99000	150	245	—	169000	100	320
Biegung[1]). .	29	111000	230	420	17	128000	240	670
Schub[2]) . .	38	—	—	40	—	—	—	85

1) Der Stammkern liegt in der Querschnittsmitte.
2) Für Radialebenen parallel zur Faserrichtung.

*) Vergl. „Hilfsbuch für die Elektrotechnik" von Grawinkel und Strecker, 6. Aufl., S. 24ff.

**) Vergl. „Des Ingenieurs Taschenbuch", 16. Aufl., S. 315ff. und 859ff.

Die mechanische Beanspruchung einer Leitungsstange wird im allgemeinen sich zurückführen lassen auf eine Belastung durch zwei Einzelkräfte, von denen die eine in vertikaler, die andere in horizontaler Richtung angreift.

V sei die in vertikaler Richtung wirkende Belastung. Sie setzt sich zusammen aus dem Eigengewichte der Stange mit den daran befestigten Isolatoren und dem auf die Stange entfallenden Anteil am Gewicht der Leitungsdrähte einschließlich der an den Drähten etwa haftenden Reif-, Schnee- oder Eislast, die bis 6 kg für 1 m Leitungsdraht betragen kann.

Bezeichnet f den Querschnitt der Stange in qcm, so wird das Material der Stange durch die Last V auf Druck beansprucht mit

$$k_d = \frac{V}{f} \text{ kg/qcm} .$$

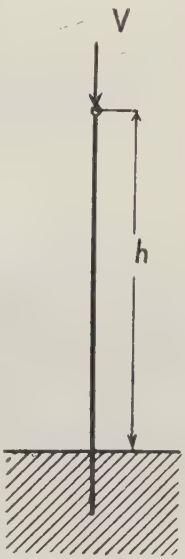


Fig. 252.

Diese Beanspruchung auf Druck bleibt im allgemeinen unterhalb des Zulässigen, dagegen ist wohl zu beachten, daß die Stange durch V nicht zu stark auf Zerknicken beansprucht wird. Im vorliegenden Belastungsfalle vermag die Stange (Fig. 252) nach Euler mit Sicherheit noch zu tragen:

$$V = \frac{1}{n} \cdot \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{E \cdot I}{h^2} \text{ kg} ,$$

wenn bezeichnet: h in cm den Abstand des Angriffspunktes der Last V vom Fußpunkte der Stange, I in cm^4 das kleinste äquatoriale Trägheitsmoment des gefährlichen Stangenquerschnittes am Fußende der Stange (vergl. Tabelle S. 185), E den Elastizitätsmodul des Stangenmaterials in kg/qcm und n den Grad der Sicherheit.

Im allgemeinen ist zu wählen:

Für Nadelholz*) . . . E = 110000, n = 10;
„ Gußeisen . . . . E = 1000000, n = 8;
„ Schmiedeeisen . . E = 2000000, n = 6.

In horizontaler Richtung wirken auf die Stange die Horizontalkomponenten der Spannungen aller von der Stange ausgehenden Drähte und der gewöhnlich horizontal anzunehmende Winddruck.

*) Vergl. Tabelle S. 186.

Diese Kräfte suchen die Stange umzubrechen und beanspruchen sie auf Biegung.

Es sei (in Fig. 253) Z_1 in kg der gesamte horizontale Zug aller in der einen Richtung an der Stange angreifenden Drähte, Z_2 der Zug der Drähte in der anderen Richtung und α der von den Drähten gebildete Winkel, dann ist die resultierende Kraft R der Größe und Richtung nach bestimmt als Diagonale des Parallelogramms aus Z_1 und Z_2.

Es ist $R = \sqrt{Z_1^2 + Z_2^2 + 2 Z_1 Z_2 \cos \alpha}$ und für $Z_1 = Z_2 = Z$ somit $R = 2 Z \cos \frac{\alpha}{2}$.

Eine Verstrebung bezw. Verankerung der Leitungsstange hätte in der durch R gehenden vertikalen Ebene zu erfolgen, wenn nicht auf eine besonders vorherrschende Windrichtung Rücksicht zu nehmen ist.

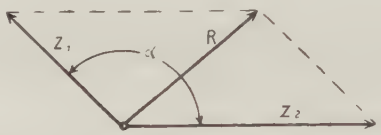


Fig. 253.

Für die gerade Leitungsstrecke, d. h. für $\alpha = 180^0$ wird $R = Z_1 - Z_2$ und daher $R = 0$, sobald der Draht so gespannt ist, daß $Z_1 = Z_2$ ist.

Der Drahtzug Z nimmt ab mit ansteigender Temperatur und zwar ändert er sich bei gleichem Drahtmateriale für die verschiedenen Spannweiten verschieden. Ist darum für eine bestimmte Temperatur $Z_1 = Z_2$, so wird im allgemeinen bei allen anderen Temperaturen Z_1 von Z_2 verschieden sein und nur für Stützpunkte zwischen zwei gleichen Spannweiten Z_1 dauernd gleich Z_2 bleiben.

Der Winddruck P_w in kg auf eine zur Bewegungsrichtung normale Fläche ist annähernd bestimmt aus

$$P_w = 0{,}122 \, f \, V^2,$$

wenn f den Inhalt der Fläche in qm und V die Geschwindigkeit der Luft in $\frac{m}{sec}$ bezeichnet.

Ist die getroffene Fläche nicht eben, sondern zylindrisch gewölbt, so ist der Winddruck nach d'Aubuisson

$$P_w = 0{,}085 \, . \, f^{1{,}1} \, . \, V^2$$

Für eine Windgeschwindigkeit von 20 m (Orkan) ergibt sich hiernach ein Druck von 34 kg/qm.

Nach den Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker ist der Winddruck auf 1 qm senkrecht getroffener Fläche zu 125 kg anzunehmen.

Festigkeit einzelner Konstruktionen.

Eine einfache Stange (Fig. 254) sei beansprucht durch eine vertikale, in Richtung der Stangenachse wirkende Kraft V

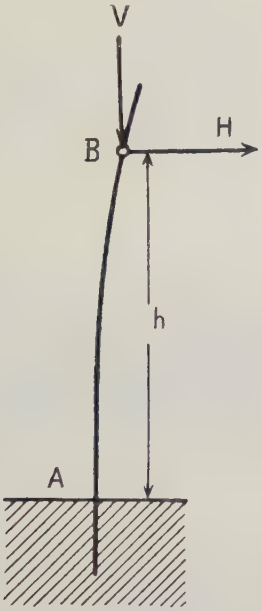


Fig. 254.

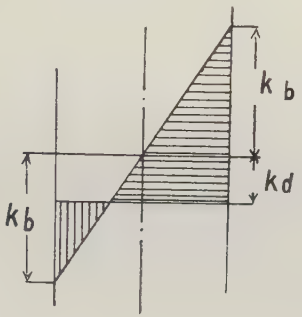


Fig. 255.

und eine senkrecht zur Stangenachse gerichtete Kraft H. Der Angriffspunkt B beider Kräfte sei um h cm vom Fußpunkte der Stange entfernt.

Das größte Biegungsmoment tritt an der Einspannungsstelle A auf. Ist für diese Stelle $W \left(= \frac{I}{a}\right)$ das Widerstandsmoment des Stangenquerschnittes in cm^3 (siehe Tabelle S. 185), so wird bei A das Material der Stange auf Biegung beansprucht mit

$$k_b = \frac{H \cdot h}{W} \text{ kg/qcm}.$$

Bezeichnet f den Stangenquerschnitt in qcm, so ist durch die vertikale Belastung V das Stangenmaterial auf Druck beansprucht mit

$$k_d = \frac{V}{f} \text{ kg qcm}.$$

Aus der gleichzeitigen Beanspruchung auf Biegung und auf Druck resultiert für das Stangenmaterial bei A eine größte Beanspruchung

$$k = \frac{H \cdot h}{W} + \frac{V}{f} \text{ kg/qcm (siehe Fig. 254 u. 255).}$$

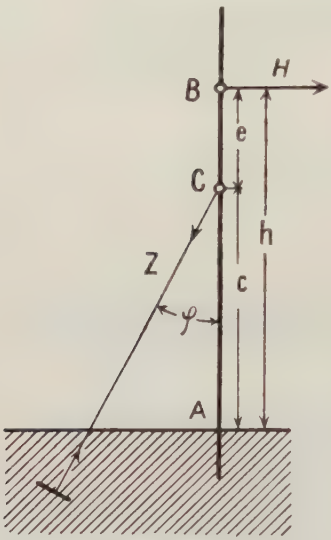


Fig. 256.

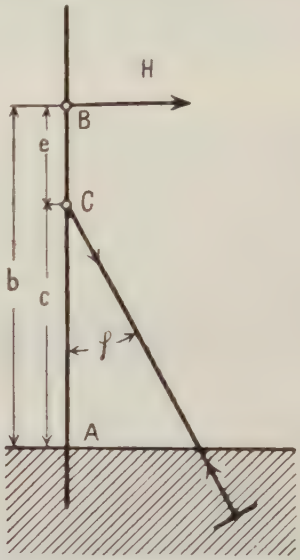


Fig. 257.

Für K sind noch zulässig:

bei Holz . . . . . 75 kg/qcm
„ Schmiedeeisen . . 750 „

Stange mit Anker (Fig. 256).

Es bezeichne:

H die resultierende horizontale Belastung der Stange in kg,

h = e + c den Abstand des Angriffspunktes B der Kraft am Fußpunkte A der Stange in cm,

c den Abstand des Angriffspunktes des Ankers vom Fußpunkte A in cm,

φ den von Anker und Stange gebildeten Winkel,

f den Stangenquerschnitt bei C in qcm,

$W \left(= \frac{I}{a}\right)$ das Widerstandsmoment des Stangenquerschnittes bei C in cm^3 (siehe Tabelle auf S. 185).

und q den Ankerquerschnitt in qcm,
dann ist die Beanspruchung des Ankers

$$k_z = \frac{H\left(1 + \frac{3e}{2c}\right)}{\sin \varphi \,.\, q} \text{ kg/qcm},$$

wenn der Anker so gespannt wird, daß C seine ursprüngliche Lage, vertikal über A, beibehält.

Der gefährliche Querschnitt der Stange liegt bei C; die größte hier auftretende Beanspruchung des Stangenmaterials (auf Druck) ist

$$k_e = \frac{H \,.\, e}{W} + \frac{H\left(1 + \frac{3e}{2c}\right)\cot \varphi}{f} \text{ kg/qcm}.$$

Stange mit Strebe (Fig. 257).

Der Druck auf die Strebe ist

$$D = \frac{H\left(1 + \frac{3e}{2c}\right)}{\sin \varphi} \text{ kg},$$

wenn sie so angebracht wird, daß C seine ursprüngliche Lage, vertikal über A, beibehält.

Die Strebe wird durch den Druck D auf Zerknicken beansprucht. Wenn ihre beiden Enden als frei aufliegend zu betrachten sind, so kann als noch zulässige Belastung der Strebe nach Euler angesehen werden

$$P = \frac{1}{n} \cdot \frac{\pi^2 \,.\, E \,.\, I}{l^2} \text{ kg};$$

wobei I das kleinste äquatoriale Trägheitsmoment des Querschnittes der Strebe in cm^4, l die freie Länge der Strebe in cm, E den Elastizitätsmodul des Materials der Strebe und n den Grad der Sicherheit bezeichnet.

Streben, deren unteres Ende so befestigt ist, daß es als fest eingespannt angesehen werden kann, können mit

$$P = \frac{2}{n} \cdot \frac{\pi^2 \,.\, E \,.\, I}{l^2} \text{ kg}$$

auf Zerknicken beansprucht werden.

Wie bei der verankerten Stange liegt auch im vorliegenden Falle der gefährliche Querschnitt bei C; die größte hier auftretende Beanspruchung des Materials der Leitungsstange (auf Zug) ist wieder

$$k_e = \frac{H \,.\, e}{W} + \frac{H\left(1 + \frac{3e}{2c}\right)\cot \varphi}{f} \text{ kg/qcm}.$$

Doppelgestänge (Fig. 258).

In der Höhe $h = (e + c)$ greife an jeder der beiden Stangen des Doppelgestänges eine resultierende horizontale Last H/2 an.

Der Querriegel F mit dem Querschnitt q wird auf Zug beansprucht mit

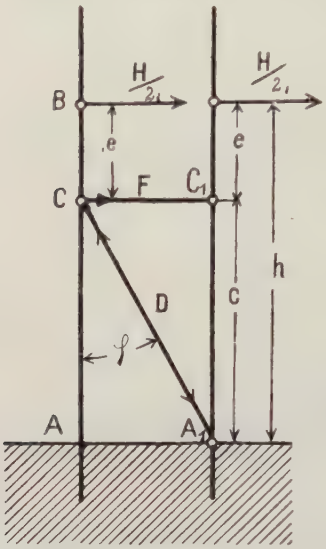


Fig. 258.

$$k_F = \frac{H}{2} \frac{\left(1 + \frac{3e}{2c}\right)}{q} \text{ kg/qcm};$$

Die Diagonale D wird wie die Strebe des vorigen Beispieles auf Zerknicken beansprucht durch

$$D = \frac{H \left(1 - \frac{3e}{2c}\right)}{\sin \varphi} \text{ kg},$$

Für die Stangen liegt der gefährliche Querschnitt bei C bzw. C_1; die Beanspruchung an dieser Stelle ist

$$k_c = \frac{H \cdot e}{2W} + \frac{H \left(1 - \frac{3e}{2c}\right) \cot \varphi}{f}$$

bzw. $k_{c_1} = \frac{H \cdot e}{2W}$.

b) Leitungsdraht.

Zur Verwendung kommen für die Herstellung von Stark- und Schwachstromanlagen folgende Drahtsorten:

Eisendraht (blank gezogen, geglüht, verzinkt), Stahldraht (Bessemerstahldraht, Tiegelstahldraht), Kupferdraht (Hartkupferdraht, Weichkupferdraht), Bronzedraht (Doppelbronzedraht, Siliziumbronzedraht, Phosphorbronzedraht, Höpermetalldraht), Aluminiumdraht, Doppelmetalldraht, Deltametalldraht, Messingdraht.

Die Wahl des Materiales richtet sich nach der Art der Verwendung, der beanspruchten Festigkeit und der Stromstärken. Während für Schwachstromanlagen vorwiegend Eisen-, Stahl-, Bronzedrähte, Drähte aus Legierungen und Kupferdrähte geringeren Durchmessers verwendet werden, kommen für Starkstromanlagen fast ausschließlich Kupferdrähte der stärkeren Arten in Anwendung.

1. Eisendraht: Verzinkter Eisendraht von 6 mm, 5 mm, 4 mm oder 3 mm Stärke wird zur Herstellung von Telegraphenleitungen be-

nutzt und zwar 5 mm und stärkerer Draht für die internationalen Leitungen oder die Leitungen des großen inländischen Verkehrs, 4 mm starker Draht für die übrigen Leitungen der Hauptlinien und 3 mm starker Draht für die Leitungen der Nebenlinien. Als Bindedraht wird 2 mm starker, als Wickeldraht 1,7 mm starker verzinkter Eisendraht benutzt.

Anforderungen an Eisendraht: Der Eisendraht darf nur aus bestem, zur Drahtfabrikation geeignetem Schmiedeeisen gefertigt sein und muß durchgängig einen genau kreisrunden Querschnitt haben. Die Oberfläche darf weder Furchen noch Risse und Splitter zeigen; sie muß vollständig glatt sein. Auf der Bruchfläche muß der Draht eine gleichmäßig graue Farbe ohne schwarze Punkte und ohne lichte Stellen sowie ein faseriges Gefüge zeigen. Die sonstigen Anforderungen gehen aus der nachstehenden Tabelle hervor:

Verzinkter Eisendraht.

Durchmesser mm	Gewicht von 1 km kg	Zerreißfestigkeit kg	Zahl der Torsionen	Zahl der Biegungen	Widerstand von 1 km in Ohm
6	220	1130	16	6	4,65
5	150	785	19	7	6,72
4	100	502	23	8	10,47
3	55	282	28	8	18,60
2	24	125	32	14	—
1,7	18	90	38	16	—

Bei der Prüfung auf Torsion wird ein gerades Drahtstück auf 15 cm freie Länge eingeklemmt und regelmäßig (gewöhnlich mit 15 Umdrehungen in 10 Sekunden) tordiert.

Die Prüfung mittels Biegungen wird so ausgeführt, daß der Draht um einen rechten Winkel und wieder zurück über Bolzen von 10 mm Radius für den Draht von 4 mm und mehr, von 5 mm Radius für die schwächeren Drahtsorten abwechselnd nach links und rechts gebogen wird. Als eine Biegung wird gezählt: gerade, gebogen, wieder gerade.

Der Zinküberzug darf nicht abblättern, wenn der Draht auf einen Zylinder von 10 mal größerem Durchmesser gewickelt wird. Der Überzug muß ferner 7 Eintauchungen von je 1 Minute Dauer in eine Lösung von einem Gewichtsteil Kupfervitriol in 5 Gewichtsteilen Wasser aushalten, ohne daß sich eine zusammenhängende Kupferhaut bildet.

Der Leitungsdraht ist in Ringen von 30 bis 45 kg Gewicht ohne Löt- und Schweißstellen zu liefern.

2. Bronzedraht, Doppelmetalldraht, Kupferdraht usw.: Bronzedraht von 1,5 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm und größerer Stärke, unter Umständen auch Doppelbronzedraht, Patentbronzedraht und ähnliche Bronzedrahtsorten werden für Fernsprechleitungen, ausnahmsweise für Telegraphenleitungen verwendet, und zwar 1,5 mm starke Drähte für Fernsprechanschlußleitungen, 2 mm starke Drähte für Fernsprechverbindungsleitungen geringerer Länge, 3 mm starke für Anlagen größerer Länge und 4 mm starke und darüber hinaus für Anlagen von erheblicher Ausdehnung, insbesondere für Anlagen des internationalen Verkehrs.

Als Bindedraht wird ausgeglühter Bronzedraht von 1,5 mm für Leitungen bis zu 2 mm Stärke, von 2 mm für Leitungen von 3 mm Stärke, von 3 mm für stärkere Leitungen verwendet.

Doppelmetalldraht, bestehend aus einem Stahlkerne mit Kupferhülle von 2 mm, 3 mm, 4 mm und 5 mm Stärke wird bisweilen an Stelle von Bronzedraht verwendet.

Die sonstigen Anforderungen gehen aus nachstehender Tabelle hervor*):

Durchmesser mm	Bronzedraht: Gewicht v. 1 km kg	Bronzedraht: Zerreißfestigkeit kg	Bronzedraht: Zerreißfestigkeit kg/mm²	Bronzedraht: Biegungszahl	Bronzedraht: Dehnung	Bronzedraht: Widerstand v. 1 km Ohm	Doppelmetalldraht: Zerreißfestigkeit kg	Doppelmetalldraht: Zerreißfestigkeit kg mm²	Doppelmetalldraht: Biegungszahl	Doppelmetalldraht: Widerstand v. 1 km Ohm
5	178	981	50	6	1,5	0,96	1178	60	5	2,59
4,5	144	795	50	6	1,5	1,19	—	—	—	—
4	112	640	51	7	1,5	1,51	753	60	5	4,04
3	63	372	52,6	7	1,5	2,67	494	70	5	7,17
2	28	170	52,6	10	1,5	6,02	219	70	9	16,21
1,5	16	120	70	15	1,0	14,43	—	—	—	—

Ausnahmsweise werden an Stelle der stärkeren Drahtsorten schwächere verwendet, und zwar

1. beim Überschreiten des Eisenbahnkörpers und der Schienen,
2. zur Weiterführung der Leitungen von der letzten Stange — Abspannstange — nach der Hauseinführung oder nach Überführungssäulen,

*) „Hilfsbuch für die Elektrotechnik" von Grawinkel und Strecker, 6. Aufl., S. 578.

3. an den Untersuchungsstellen zur Verbindung zweier abgespannter Leitungszweige,
4. in Winkelpunkten, auf größeren Bahnhöfen, in Ortschaften usw. zur Entlastung der Linien, wenn Verstärkungsmittel nicht ordnungsmäßig angebracht werden können.

Die Reichstelegraphenverwaltung berechnet nach der Telegraphenbauordnung folgende Bedarfssätze für Leitungs- und Bindedraht:

An Leitungsdraht für 1 km

	Verzinkter Eisendraht	Bronzedraht
von 6 mm Stärke . . .	230 kg	—
„ 5 „ „ . . .	159 „	178 kg
„ 4 „ „ . . .	103 „	116 „
„ 3 „ „ . . .	58 „	65 „
„ 2 „ „ . . .	—	30 „
„ 1,5 „ „ . . .	—	17 „

An Bindedraht zur Befestigung des Leitungsdrahtes an den Isolatoren ist für je 100 Bindungen zu veranschlagen:

bei Eisendrahtleitungen

3,5 kg 2 mm starker verzinkter Eisendraht,

bei Bronzedrahtleitungen

von 5 mm Stärke 9,8 kg ausgeglühter Bronzedraht von 3 mm Stärke
„ 4 „ „ 9,3 „ „ „ „ 3 „ „
„ 3 „ „ 4,3 „ „ „ „ 2 „ „
„ 2 „ „ 2,3 „ „ „ „ 1,5 „ „
„ 1,5 „ „ 1,6 „ „ „ „ 1,5 „ „

Über die übrigen bekannten Drahtsorten gibt die nachfolgende, dem Hilfsbuch für die Elektrotechnik von Grawinkel und Strecker (6. Aufl. S. 579) entnommene Tabelle die nötigen Angaben:

δ = spezifisches Gewicht.
ϱ = spezifischer Widerstand bei 15° C.
γ = Leitfähigkeit in Proz. des reinen Kupfers, 100% = 60.
p = absolute Festigkeit in kg/qmm.
B = Biegungen im rechten Winkel.
D = Dehnung bis zum Bruch in Proz.

Die Angaben beziehen sich auf Drähte von 3 mm Durchmesser (nach Mitteilungen der Fabrikanten).

Firma	Drahtmaterial	δ	ϱ	in %	p	B	D
Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin.	Hartkupfer	8,9	0,0174	96	43,8	6	0,9
	Bronze I	8,9	0,0178	94	52,6	7	1,9
	„ II	8,9	0,0198	84	52	7	1,9
	Doppelmetall	8,9	0,0281	59	69	5	
	Aluminium	2,64	0,0278	60	20	8	2,5
Basse & Selve, Altena (Westphalen).	Hartkupfer	8,90	0,0172	97	45	3	1,5
	Bronze I	8,99	0,0193	87	59	7	1,5
	„ II	8,94	0,0189	88	52	7	1,5
	„ III	8,99	0,0280	60	60—65	5	1
	„ IV	8,86	0,0490	34	65—70	5	1
	Doppelbronze I	8,90	0,0193	87	50—55	9	1
	„ II	8,80	0,0280	60	60—65	11	0,75—1
	„ III	8,74	0,0350	48	70—75	10	0,75—1
	Doppelmetall I	8,64	0,0193	87	50—55	8	1—1,5
	„ II	8,54	0,0280	60	65—70	10	0,75—1
	„ III	8,20	0,0500	33	70—75	7	0,75—1
	Aluminium	2,65	0,031	54	20,5	4	2,5—3
	Alum.Leg.No.179	2,65	0,029	57	19,1	5	2,5—3
	„ „ 63	2,80	0,041	41	27,5	1	2—2,5
	„ „ 180	2,60	0,037	45	30	3	2—2,5
	„ „ 157	2,80	0,049	34	33,2	1	2—2,5
	„ „ 69	2,64	0,038	44	33,7	1,5	2—2,5
Felten & Guilleaume Carlswerk A.-G., Mülheim (Rhein).	Bronze I	8,91	0,0177	94	46		1,5
	„ II	8,88	0,0198	84	50		1,5
	„ III	8,7	0,0283	59	70		1
	„ IV	8,8	0,0423	39	70		1
	„ V	8,8	0,0563	30	80		1
Vorige & Carl Berg, Eveking.	Doppelbronze	8,91	0,022	76	53	9	1—1,5
Heddernheimer Kupferwerk vorm. F. A. Hesse Söhne, Heddernheim b. Frankfurt a. Main.	Hartkupfer	8,95	0,0175	95	43		1,5
	Weichkupfer	8,95	0,0172	97	24		—
	Bronze I	8,93	0,0176	94	46		1,5
	„ II	8,90	0,0200	83	50		1,5
	„ III	8,70	0,0283	59	70		1
	„ IV	8,78	0,0424	39	70		1
	„ V	8,78	0,0564	30	80		1
Oberschles. Eisenindustrie A.-G., Gleiwitz.	Doppelmetall I	8,55	0,021	80	40	6	1—2
	„ II	8,30	0,028	60	60	bis	1—2
	„ III	8,10	0,045	37	80	10	1—2

Hess. Kupferwerke, G. m. b. H., Gustavsburg bei Mainz: Drähte wie das Heddernheimer Kupferwerk.

Der Leitungsdraht dehnt sich mit zunehmender Temperatur aus. Unter dem linearen Ausdehnungskoeffizienten (α) versteht man die Verlängerung auf die Längeneinheit bei 1° Temperaturerhöhung; der Koeffizient für die Flächenausdehnung ist annähernd doppelt so groß ($= 2\alpha$), derjenige für die Raumausdehnung annähernd dreimal so groß ($= 3\alpha$).

Erwärmt man einen Körper von der Länge l um t° C, so wird die Länge $l_t = l\,(1 + \alpha t)$. Der Ausdehnungskoeffizient α wächst mit der Temperatur, kann aber als annähernd konstant betrachtet werden.

Die linearen Ausdehnungskoeffizienten für die zum Telegraphenlinien- und Leitungsbau verwendeten Materialien gibt nachstehende Tabelle:

Aluminium	$22 \cdot 10^{-6}$	Messing	$19 \cdot 10^{-6}$
Blei	$28 \cdot 10^{-6}$	Neusilber	$18 \cdot 10^{-6}$
Bronze	$18 \cdot 10^{-6}$	Platin	$9 \cdot 10^{-6}$
Eisen	$12 \cdot 10^{-6}$	Schweißeisen	$12 \cdot 10^{-6}$
Glas, bleihaltiges	$9 \cdot 10^{-6}$	Silber	$19 \cdot 10^{-6}$
„ englisches	$8 \cdot 10^{-6}$	Stahl, gehärtet	$12 \cdot 10^{-6}$
Gußeisen	$11 \cdot 10^{-6}$	„ weich	$11 \cdot 10^{-6}$
Holz, quer zur Faser	$30-60 \cdot 10^{-6}$	Zink, gegossen	$29 \cdot 10^{-6}$
„ längs „ „	$3-10 \cdot 10^{-6}$	„ gehämmert	$31 \cdot 10^{-6}$
Kohle	$5 \cdot 10^{-6}$	Zinn	$19 \cdot 10^{-6}$
Kupfer	$17 \cdot 10^{-6}$		

Für Starkstromanlagen wird vorwiegend Kupferdraht, selten Bronze-, Eisen- und Neusilberdraht verwendet. Für Kupferdraht gelten die „Kupfernormalien des Verbandes deutscher Elektrotechniker", angenommen am 18. Juni 1896, die folgende Bestimmungen enthalten:

§ 1. Der spezifische Widerstand des Leitungskupfers wird gegeben durch den in Ohm ausgedrückten Widerstand eines Stückes von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt bei 15° C.

§ 2. Als Leitfähigkeit des Kupfers gilt der reziproke Wert des durch § 1 festgesetzten spezifischen Widerstandes.

§ 3. Kupfer, dessen spezifischer Widerstand größer ist als 0,0175, oder dessen Leitfähigkeit kleiner ist als 57, ist als Leitungskupfer nicht annehmbar.

§ 4. Als Normalkupfer von 100 % Leitfähigkeit gilt ein Kupfer, dessen Leitfähigkeit 60 beträgt.

§ 5. Zur Umrechnung des spezifischen Widerstandes oder der Leitfähigkeit von anderen Temperaturen auf 15° C ist in allen Fällen,

wo der Temperaturkoeffizient nicht besonders bestimmt wird, ein solcher von 0,4 % für 1 ° C anzunehmen.

Für die Isolation der Leitungen von Starkstromanlagen geben die neu erlassenen Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker folgende Bestimmungen:*)

a) Vor Inbetriebsetzung einer Anlage ist durch Isolationsprüfung, womöglich mit der Betriebsspannung, mindestens aber mit 100 V, festzustellen, ob Isolationsfehler vorhanden sind. Das gleiche gilt von jeder Erweiterung der Anlage.

b) Bei diesen Messungen muß nicht nur die Isolation zwischen den Leitungen und der Erde, sondern auch die Isolation je zweier Leitungen verschiedenen Potentials gegeneinander gemessen werden; im letzteren Falle müssen alle Glühlampen, Bogenlampen, Motore oder andere Strom verbrauchende Apparate von ihren Leitungen abgetrennt, dagegen alle vorhandenen Beleuchtungskörper angeschlossen, alle Sicherungen eingesetzt und alle Schalter geschlossen sein. Reihenstromkreise dürfen jedoch nur an einer einzigen Stelle geöffnet werden, die möglichst nahe der Mitte zu wählen ist. Dabei müssen die Isolationswiderstände den Bedingungen des Absatzes d genügen.

c) Bei Isolationsmessungen durch Gleichstrom gegen Erde soll, wenn möglich, der negative Pol der Stromquelle an die zu messende Leitung gelegt werden, und die Messung soll erst erfolgen, nachdem die Leitung während zwei Minuten der Spannung ausgesetzt war.

d) Der Isolationszustand einer Anlage, mit Ausnahme der Teile unter e und f, soll derart sein, daß bei Niederspannungsanlagen der Stromverlust auf jeder Teilstrecke zwischen 2 Sicherungen oder hinter der letzten Sicherung bei der Betriebsspannung ein Milliampere nicht überschreitet. Der Isolationswert einer Leitungsstrecke muß hiernach wenigstens betragen: 1000 Ω, multipliziert mit der Voltzahl der Betriebsspannung (z. B. 220000 Ω für 220 V Betriebsspannung). Für Hochspannungsanlagen lauten die Werte bei

250	bis 300 V	mindestens	250000	Ω
300	„ 400 „	„	280000	„
400	„ 500 „	„	330000	„
500	„ 600 „	„	375000	„
600	„ 700 „	„	410000	„
700	„ 800 „	„	440000	„
800	„ 900 „	„	460000	„
900	„ 1000 „	„	480000	„

*) E. T. Z. 1903, S. 141ff. für Niederspannungsanlagen, S. 148ff. für Hochspannungsanlagen.

Von 1000 V an soll der Widerstand mindestens 500 Ω für das Volt betragen.

e) Diejenigen Teile von Anlagen, welche in feuchten Räumen, z. B. in Brauereien, Färbereien, Gerbereien usw. installiert sind, brauchen der Vorschrift des Absatzes d nicht zu genügen, sollen aber mit möglichster Sorgfalt isoliert sein.

f) Der Isolationswiderstand von Freileitungen muß bei feuchtem Wetter bei Niederspannungsanlagen mindestens 20 000 Ω für das km einfacher Länge, bei Hochspannungsanlagen mindestens 80 Ω für das Volt und km einfacher Länge betragen, braucht aber 1 $^1/_2$ Mill. Ω nicht zu übersteigen.

Nach § 5 der „Sicherheitsvorschriften" dürfen blanke Kupferleitungen höchstens mit folgenden Stromstärken dauernd belastet werden:

bei	0,75	qmm	Querschnitt	mit	4	Ampere
„	1	„	„	„	6	„
„	1,5	„	„	„	10	„
„	2,5	„	„	„	15	„
„	4	„	„	„	20	„
„	6	„	„	„	30	„
„	10	„	„	„	40	„
„	16	„	„	„	60	„
„	25	„	„	„	80	„
„	35	„	„	„	90	„
„	50	„	„	„	100	„

über 50 und unter 1000 qmm mit 2 Ampere für das qmm. Diese Sätze gelten nicht für Freileitungen, die mit größeren Stromstärken belastet werden können. Bei intermittierendem Betrieb ist eine Erhöhung der Belastung zulässig, sofern dadurch keine größere Erwärmung als bei der der Tabelle entsprechenden Dauerbelastung entsteht.

Der geringste zulässige Querschnitt von offen verlegten blanken Kupferleitungen in Gebäuden ist 4 qmm, bei Freileitungen 10 qmm.

Bei Verwendung von Leitern aus anderen Metallen müssen die Querschnitte so gewählt werden, daß sowohl Festigkeit wie Erwärmung durch den Strom den im vorigen für Kupfer gegebenen Querschnitten entspricht.

3. Verlegung des Leitungsdrahtes: Der Draht wird neben den Stangen an derjenigen Seite ausgelegt, von welcher er am leichtesten auf die zugehörigen Isoliervorrichtungen gebracht werden kann. Läßt sich bei Mehrfachgestängen der Draht nicht von

außen auf die Porzellandoppelglocken heben, so wird er längs des vorwärts oder rückwärts liegenden Gestängeabschnittes aufgerollt und von da über die zugehörigen Querträger usw. gezogen.

Beim Abrollen der Eisen-, Bronze- und Kupferdrahtringe ist stets mit dem Ende zu beginnen, das den Abnahmestempel trägt. Das Abwickeln muß so erfolgen, daß der Draht weder Knicke noch Schlingen bildet, sich nicht um seine Achse dreht und nicht über steinigen Boden schleift. Zum Abrollen des weniger widerstandsfähigen Bronze- und Kupferdrahtes dient ein tragbarer Haspel oder eine Trommel, während der Eisendraht ohne besondere Vorrichtungen abgerollt wird. Bronzedraht muß sorgfältig behandelt und darf nur mit Werkzeugen bearbeitet werden, deren Kanten abgerundet sind; die Zangen, Feilkloben und Klemmbacken sind mit Bronze zu füttern.

An Wegübergängen usw. ist der Draht zur Verhütung von Beschädigungen oder Verkehrsstörungen sogleich auf die Isolatoren zu legen und vorläufig festzubinden. Personen dürfen nicht auf ihn treten, Fuhrwerk ihn nicht überfahren.

Sollen blanke Drähte über stromführende Teile elektrischer Starkstromanlagen, insbesondere solcher, deren Rückleitung — wie bei fast allen Straßenbahnen — mit Erde verbunden ist, gezogen werden, so empfiehlt es sich, für die Dauer der Arbeiten unterhalb der Schwachstromleitungen ein Schutznetz aus starkem Bindfaden anzubringen, wenn nicht schon ein Drahtschutznetz vorhanden ist.

Das Ausrecken des Drahtes hat den Zweck, die in ihm vorhandenen Biegungen und Ecken zu beseitigen und schadhafte Stellen, die früher oder später reißen würden, zu entdecken. Zu diesem Zwecke wird eine Drahtwinde benutzt und der zu prüfende Draht in eine Froschklemme oder Kniehebelklemme gesteckt. Die Anspannung beim Recken darf nie bis zur Grenze seiner absoluten Festigkeit ausgeübt werden und soll beim Bronzedraht nur bis zum vierten Teile derselben gehen. Als Werte für die absolute Festigkeit werden angenommen:

bei 6 mm starkem Eisendraht	1130 kg	bei 5 mm starkem Bronzedraht	981 kg
„ 5 „ „ „	785 „	„ 4 „ „ „	640 „
„ 4 „ „ „	502 „	„ 3 „ „ „	372 „
„ 3 „ „ „	282 „	„ 2 „ „ „	170 „
		„ 1,5 „ „ „	120 „

Das Aufbringen des Drahtes auf die Isolatoren bietet bei den zur ebenen Erde gelegenen Stützpunkten keine Schwierigkeiten. Man be-

nutzt dazu eine Stange, die oben mit einem Haken oder einer Gabel versehen ist.

Wenn der Draht über das Gestänge hinweggezogen werden muß, so sind sämtliche Eisenteile, mit denen er in Berührung kommen kann, mit alter Packleinewand zu umwickeln.

Das Aufbringen des Leitungsdrahtes auf eiserne Dachgestänge erfordert besondere Vorkehrungen. Zunächst zieht man über sämtliche Stützpunkte eines Linienabschnitts von 500—600 m eine Leine. Der Anfang der Leine wird mit dem auf eine Trommel oder einen Haspel aufgewickelten Leitungsdraht und mit einer zweiten Leine verbunden. Durch Aufwickeln der ersten Leine auf eine Trommel wird der Draht nebst der zweiten Leine über die Stützpunkte gezogen.

Herstellung des richtigen Leitungshanges. Der auf den Isoliervorrichtungen ruhende Draht beschreibt zwischen zwei Aufhängepunkten einen flachgekrümmten Bogen, eine sogenannte Ketten-

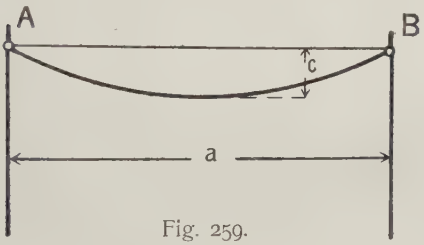


Fig. 259.

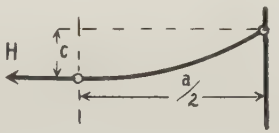


Fig. 260.

linie, bei dem der Abstand des tiefsten Punktes von der geraden Verbindungslinie der beiden Aufhängepunkte mit Durchhang oder Pfeilhöhe bezeichnet wird. Der Durchhang wird um so geringer, je stärker der auf den Draht in seiner Längsrichtung wirkende Zug — die Spannung — ist. Im tiefsten Punkte des Drahtbogens hängt die Spannung ab von

1. der Spannweite, d. h. von der Entfernung zwischen den beiden Aufhängepunkten des Drahtbogens,
2. dem Gewicht der Längeneinheit des Drahtes,
3. der Temperatur und
4. der elastischen Dehnung des Drahtes.

Bezeichnet bei gleicher Höhenlage der Stützpunkte A und B (Fig. 259)

a die Spannweite in m,
c die Pfeilhöhe in m,
q das Gewicht von 1 m Leitungsdraht in kg und
H die Spannung im tiefsten Punkte in kg (Fig. 260),

so ist annähernd

$$H = \frac{qa^2}{8c} .$$

An einem Punkte, der um d m höher liegt, als der tiefste Punkt, ist die Drahtspannung um d . q kg größer, sie beträgt somit an dem Aufhängepunkte A (oder B), da d = c ist:

$$H_1 = \frac{q \cdot a^2}{8c} + c \cdot q \text{ kg} .$$

Ist f der Querschnitt des Drahtes in qmm und δ das spezifische Gewicht des Drahtmateriales, so wird der Draht an seiner tiefsten Stelle beansprucht mit

$$k = \frac{H}{f} = \frac{\delta \cdot a^2}{8000\,c} \text{ kg/qmm} .$$

Für Leitungsdrähte kann infolge des verhältnismäßig geringen Durchhanges die Spannung an der tiefsten Stelle annähernd gleich gesetzt werden der etwas höheren an allen anderen Punkten zwischen A und B.

Bezeichnet l die Länge des gespannten Drahtes in m, so ist annähernd:

$$l = a - \frac{8c^2}{3a} .$$

Durch die Spannung H ist dieser Draht gedehnt um die Strecke

$$\lambda = \alpha \cdot \frac{\delta a^2}{8000\,c} \cdot l \quad \text{oder rund} \quad \frac{\alpha \cdot \delta \cdot a^3}{8000\,c} \text{ m} ,$$

wenn α den elastischen Dehnungskoeffizienten des Drahtmaterials in $\frac{\text{qmm}}{\text{kg}}$ bezeichnet $= \frac{1}{10\,000}$ für Kupfer und Bronze, $\frac{1}{20\,000}$ für Eisen.

$l_0 = l - \lambda$ ist dann die Länge des zum Überspannen der Spannweite A B erforderlichen Drahtstückes.

Der Durchhang und damit die Spannung des Drahtes sind abhängig von der jeweiligen Temperatur. Mit fallender Temperatur nimmt der Durchhang ab und die Spannung wächst sehr rasch. Bei dem Spannen der Drähte ist der Durchhang so zu bemessen, daß die Spannung bei der tiefsten zu erwartenden Temperatur und bei gleichzeitiger Beanspruchung durch Winddruck, Eis- oder Schneelast die zulässige Materialbeanspruchung nicht übersteigt. Die Mittelwerte für die thermischen (linearen) Ausdehnungskoeffizienten der verschiedenen Drahtsorten gehen aus der Tabelle auf S. 197 hervor.

Die Drähte können nach der Spannungstabelle mit Hilfe eines Dynamometers gespannt werden, gewöhnlich aber wird ihnen nach der Durchhangstabelle ein der jeweiligen Spannweite und Temperatur entsprechender Durchhang gegeben. Der gewünschte Durchhang wird, wo es geht, an einer Meßlatte in der Mitte der Spannweite abgesteckt oder aber es wird beim Ausspannen der Drähte eine Visierlinie benutzt, die parallel zur Verbindungslinie der beiden Stützpunkte verläuft, aber von den Stützpunkten um den der Durchhangstabelle

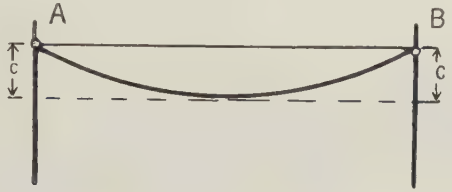


Fig. 261.

entnommenen Durchhangswert c entfernt ist (Fig. 261). Bei ungleich hohen Stützpunkten können die Tabellenwerte für c in der durch die nebenstehende Fig. 262 angegebenen Weise im allgemeinen ohne weiteres benutzt werden.

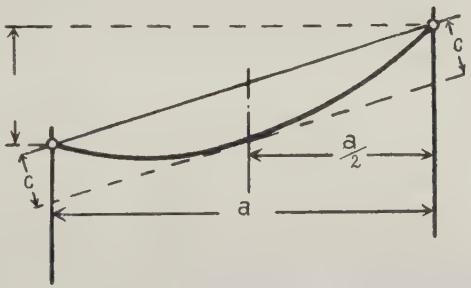


Fig. 262.

Die Reichstelegraphenverwaltung hat als Grundsatz aufgestellt, daß die Leitungsdrähte bei der niedrigsten vorkommenden Temperatur (—25 ° C) höchstens mit dem vierten Teil ihrer absoluten Festigkeit gespannt sein dürfen. Hiernach wird die dem Drahte zu gebende Spannung aus den nachstehenden, für das qmm Querschnitt aufgestellten 3 Tabellen berechnet, indem man die Werte mit dem Querschnitte der Drähte vervielfältigt, und zwar mit rund

	28	20	13	7	3	2
für	6	5	4	3	2	1,5 mm starke Drähte.

Spannungstabelle

für Leitungen aus Eisendraht von rund 40 kg absoluter Festigkeit für das Quadratmillimeter Querschnitt.

Temperatur in °C.	Spannweite								
	30 m kg	40 m kg	50 m kg	60 m kg	80 m kg	100 m kg	120 m kg	150 m kg	200 m kg
— 25	10	10	10	10	10	10	10	10	10
— 20	8,9	9,0	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6	9,8
— 15	7,9	8,1	8,3	8,4	8,7	8,9	9,1	9,3	9,5
— 10	6,9	7,2	7,5	7,7	8,1	8,4	8,7	9,0	9,3
— 5	6,0	6,4	6,8	7,1	7,6	8,0	8,3	8,7	9,1
0	5,2	5,7	6,2	6,5	7,1	7,6	8,0	8,5	8,9
+ 5	4,6	5,1	5,6	6,0	6,7	7,2	7,7	8,2	8,8
+ 10	4,0	4,6	5,2	5,6	6,4	6,9	7,4	8,0	8,6
+ 15	3,7	4,2	4,8	5,2	6,0	6,6	7,2	7,8	8,4
+ 20	3,4	3,9	4,4	4,9	5,7	6,3	6,9	7,6	8,3
+ 25	3,1	3,6	4,1	4,6	5,5	6,1	6,7	7,4	8,1

Spannungstabelle

für Leitungen aus Bronzedraht von rund 50 kg absoluter Festigkeit für das Quadratmillimeter Querschnitt.

Temperatur in °C.	Spannweite								
	30 m kg	40 m kg	50 m kg	60 m kg	80 m kg	100 m kg	120 m kg	150 m kg	200 m kg
— 25	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
— 20	11,4	11,5	11,5	11,6	11,7	11,7	11,9	12,0	12,1
— 15	10,4	10,5	10,5	10,6	10,9	11,0	11,3	11,5	11,7
— 10	9,5	9,6	9,7	9,8	10,1	10,4	10,7	11,0	11,4
— 5	8,4	8,6	8,8	9,0	9,4	9,8	10,2	10,6	11,1
0	7,4	7,7	8,0	8,2	8,8	9,3	9,7	10,2	10,8
+ 5	6,5	6,9	7,2	7,6	8,2	8,8	9,2	9,8	10,5
+ 10	5,8	6,2	6,6	7,0	7,7	8,3	8,8	9,5	10,2
+ 15	5,0	5,5	6,0	6,4	7,2	7,9	8,5	9,2	10,0
+ 20	4,5	5,0	5,5	6,0	6,8	7,5	8,1	8,9	9,8
+ 25	4,0	4,5	5,0	5,5	6,4	7,2	7,8	8,6	9,5

Spannungstabelle

für Leitungen aus Bronzedraht von rund 70 kg absoluter Festigkeit für das Quadratmillimeter Querschnitt.

Temperatur in °C.	Spannweite								
	30 m kg	40 m kg	50 m kg	60 m kg	80 m kg	100 m kg	120 m kg	150 m kg	200 m kg
— 25	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
— 20	16,4	16,4	16,4	16,5	16,6	16,6	16,6	16,7	16,9
— 15	15,4	15,4	15,4	15,4	15,6	15,7	15,8	16,0	16,2
— 10	14,4	14,4	14,4	14,5	14,7	14,8	15,0	15,2	15,6
— 5	13,4	13,4	13,4	13,5	13,8	13,9	14,2	14,5	15,1
0	12,4	12,4	12,5	12,6	12,9	13,2	13,4	13,9	14,5
+ 5	11,4	11,4	11,5	11,6	12,1	12,4	12,7	13,2	14,0
+ 10	10,3	10,4	10,5	10,8	11,3	11,7	12,1	12,7	13,5
+ 15	9,3	9,5	9,7	9,9	10,5	11,0	11,5	12,1	13,1
+ 20	8,2	8,5	8,8	9,1	9,8	10,3	10,9	11,6	12,7
+ 25	7,4	7,7	8,0	8,4	9,1	9,7	10,3	11,1	12,3

Hiernach ergeben sich die Durchhangswerte aus nachfolgenden 3 Tabellen:

Durchhangstabelle

für Leitungen aus Eisendraht von rund 40 kg absoluter Festigkeit für das Quadratmillimeter Querschnitt.

Temperatur in °C.	Spannweite								
	30 m cm	40 m cm	50 m cm	60 m cm	80 m cm	100 m cm	120 m cm	150 m cm	200 m cm
— 25	9	16	24	35	62	98	140	219	390
— 20	11	17	27	38	67	104	147	228	400
— 15	13	19	30	42	72	110	154	236	409
— 10	14	22	33	46	77	116	161	244	418
— 5	16	24	36	50	82	122	168	252	427
0	18	27	40	54	87	129	175	260	436
+ 5	21	30	43	58	93	135	182	267	445
+ 10	23	34	47	63	98	141	189	275	454
+ 15	25	37	51	67	103	147	196	283	462
+ 20	27	40	55	71	109	154	202	290	471
+ 25	30	44	59	76	114	160	209	298	479

Durchhangstabelle

für Leitungen aus Bronzedraht von rund 50 kg absoluter Festigkeit für das Quadratmillimeter Querschnitt.

Temperatur in °C.	Spannweite 30 m cm	40 m cm	50 m cm	60 m cm	80 m cm	100 m cm	120 m cm	150 m cm	200 m cm
— 25	8	14	22	32	57	89	128	200	356
— 20	9	16	24	35	61	95	135	209	368
— 15	11	17	26	38	66	101	142	218	379
— 10	13	19	29	41	70	107	150	227	391
— 5	15	21	32	44	76	113	158	236	402
0	16	23	35	48	81	120	166	246	413
+ 5	18	26	38	53	87	127	173	255	424
+ 10	21	29	42	57	92	134	181	264	435
+ 15	23	32	46	62	98	141	190	274	446
+ 20	26	36	51	67	105	148	198	283	457
+ 25	28	40	55	72	111	155	206	292	468

Durchhangstabelle

für Leitungen aus Bronzedraht von rund 70 kg absoluter Festigkeit für das Quadratmillimeter Querschnitt.

Temperatur in °C.	Spannweite 30 m cm	40 m cm	50 m cm	60 m cm	80 m cm	100 m cm	120 m cm	150 m cm	200 m cm
— 25	6	10	16	22	40	62	89	139	247
— 20	7	11	17	24	42	65	94	145	257
— 15	7	11	18	25	44	69	99	152	267
— 10	8	12	19	27	47	73	104	160	277
— 5	8	13	20	29	50	78	110	168	287
0	9	14	22	31	54	82	116	176	298
+ 5	11	15	24	34	57	87	122	184	309
+ 10	12	17	26	36	61	93	129	192	320
+ 15	13	18	28	39	66	99	136	201	331
+ 20	14	20	31	43	71	105	143	210	342
+ 25	15	23	34	47	76	111	151	219	353

Bezüglich Leitungsführung, Spannweite und Durchhang bestimmen die „Sicherheitsvorschriften“ (E. T. Z. 1903, S. 151) in § 23:

unter h) Freileitungen müssen mit ihren tiefsten Punkten mindestens 6 m, bei Wegübergängen mindestens 7 m von der Erde entfernt sein.

unter m) Wenn eine Leitung über Ortschaften und bewohnte Grundstücke geführt wird, oder wenn sie sich einer Fahrstrasse soweit nähert, daß die Vorüberkommenden durch Draht- oder Mastbrüche gefährdet werden können, müssen die Leitungsdrähte entweder so hoch angebracht werden, daß im Falle eines Durchbruches die herabhängenden Enden mindestens 3 m vom Erdboden entfernt sind, oder es müssen Vorrichtungen angebracht werden, welche das Herabfallen der Leitungen verhindern oder diese selbst spannungslos machen;

unter i) Spannweite und Durchhang müssen so bemessen sein, daß Gestänge aus Holz mit zehnfacher, aus Eisen mit fünffacher Sicherheit, und Leitungen bei -20^0 C mit fünffacher Sicherheit (bei Leitungen aus hartgezogenem Metall mit dreifacher Sicherheit) beansprucht sind. Dabei ist der Winddruck mit 125 kg für 1 qm senkrecht getroffener Fläche in Rechnung zu bringen.

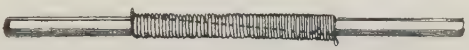


Fig. 263.

unter s) Wenn Freileitungen parallel mit anderen Leitungen verlaufen, ist die Führung der Drähte so einzurichten, oder es sind solche Vorkehrungen zu treffen, daß eine Berührung der beiden Arten von Leitungen miteinander verhütet oder ungefährlich gemacht wird.

4. Drahtverbindungen. Von besonderer Wichtigkeit für den dauernd guten Zustand der Leitungen ist die Verbindung der einzelnen Drahtenden zu einer fortlaufenden Leitung. Die auf Zug beanspruchte Verbindungsstelle muß (auch nach § 23e der Sicherheitsvorschriften) mindestens dieselbe Festigkeit und Leitfähigkeit haben als die Leitung selbst.

a) Alte Wickellötstelle (Fig. 263). Man feilt beide Drahtenden auf 6 cm Länge schräg ab, biegt die Enden um, lötet beide schräge Flächen aufeinander, bewickelt die Lötstelle mit feinem Messingdraht und überzieht sie nochmals mit Lot. Die Verbindung ist mühsam herzustellen und nicht immer von genügender Festigkeit.

b) Würgelötstelle (Fig. 264). Zur Herstellung derselben werden die Drahtenden mittels besonders geformter Werkzeuge, des Löt- und des Windeeisens, in 6 bis 7 Umwindungen in entgegengesetzter Richtung um den Leitungsdraht gewickelt, die Verbindungsstelle wird durch

Eintauchen in flüssiges Lötzinn verlötet und zum Schutze gegen Rosten mit Diamantfarbe überstrichen. Die Lötstelle ist gut, aber nicht leicht anzufertigen.

c) Muffenverbindungsstelle (Fig. 265). Durch eine Muffe aus Messing oder Gußstahl, die in der Längsrichtung zweimal durchbohrt ist, werden die beiden Drahtenden durchgesteckt und auf einem

Fig. 264.

kleinen Ambos breitgehämmert. Beim Anspannen des Drahtes pressen sich die Enden fest in die Löcher, ohne durchgleiten zu können. Die Verbindung ist genügend fest, hat aber den Fehler, daß der Draht in der Muffe leicht rostet.

d) Entlastete Lötstelle. Beide Drahtenden werden um den Hals eines Isolators gelegt und dann um den Draht selbst einigemale auf-

Fig. 265.

gewickelt. Nur die bis vor den Isolator gebogenen Enden werden zusammengedreht und verlötet.

e) Neue Wickellötstelle (Britanniaverbindung, Fig. 266 und 267). Beide Enden der Leitung werden unter rechtem Winkel umgebogen, bis auf 2 mm hohe Nocken abgefeilt und auf 7,5 cm Länge übereinandergelegt, so daß die aufgebogenen Enden entgegengesetzt abstehen.

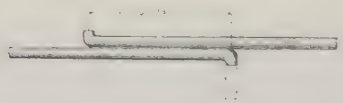


Fig. 266.

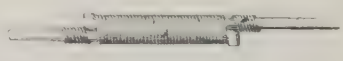


Fig. 267.

Dann sind die Enden mit 1,7 mm starkem Wickeldraht in eng liegenden Windungen fest zu umwickeln. Der Wickeldraht muß über die Nocken hinaus noch jeden Draht in 7 bis 8 Windungen umgeben. Die Verbindungsstelle wird nach Bestreichen mit Lötwasser ihrer ganzen Länge nach durch Eintauchen in geschmolzenes Lötzinn (3 Teile Blei, 2 Teile Zinn) verlötet.

Für Bronzedraht ist die Verbindung der Drähte ähnlich, nur daß als Wickeldraht 1,5 mm starker, weicher, verzinnter Kupferdraht genommen wird. Der mittlere Teil der umwickelten Stelle wird auf

Fig. 268.

etwa 4 cm Länge verlötet (Lötzinn 3 Teile Zinn, 1 Teil Blei). Die Lötung erfolgt mit dem Kolben rasch und mit so geringer Hitze als möglich; langsame Abkühlung erforderlich.

f. Drahtbunde auf kaltem Wege für Bronzedrähte nach Arld unter Verwendung von Kupferhülsen (Fig. 268). Die Enden der zu verbindenden Drähte werden so tief in die Hülsen gesteckt, daß sie etwa 5 bis 10 mm vom entgegengesetzten Rande entfernt bleiben. Dann wird eine Kluppe (Fig. 269) in der Mitte der Hülse festgelegt und mit einer zweiten Kluppe (Fig. 270) zunächst das eine, später das andere Ende der Hülse 10 bis 15 mm vom Rande entfernt gefaßt und in beiden Fällen nach der gleichen Seite gedreht. Die leeren Enden der Hülse werden in schräger Richtung abgekniffen. In 4 mm und stärkeren Leitungen sind für die Herstellung der Hülsenverbindungen Kluppen mit zweiseitiger Handhabe zu benutzen. Die Hülsen haben folgende Abmessungen:

Fig. 269.

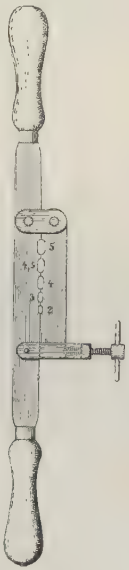


Fig. 270.

	Länge mm	Wandstärke mm
für Leitungen von 1,5 mm Durchmesser	80	0,5
„ „ „ 2 „ „	100	0,5
„ „ „ 3 „ „	150	0,6
„ „ „ 4 „ „	200	0,8
„ „ „ 5 „ „	250	0,8

5. Drahtbefestigung an den Isolatoren. Verschiedene Arten der Drahtbefestigung an den Isolatoren (mittels Keile, durch excentrische Scheiben u. dergl.) sind schon im Abschnitt III S. 49 erwähnt. Die gebräuchlichste Art ist das Festbinden des Drahtes an den Isolatoren mittels Bindedrahtes. Derselbe muß aus dem gleichen

Material wie der Leitungsdraht bestehen, um das Auftreten kleiner galvanischer Elemente (bei verschiedenem Materiale) und dadurch die Zerstörung des Leitungs- oder Bindematerials zu verhindern.

In gerader Linie wird der Leitungsdraht in der bei größeren Isolatoren auf dem Kopfe vorhandenen Rinne (Scheitelrille, oberes Drahtlager), in Krümmungen und Winkelpunkten sowie bei kleineren Isolatoren in dem Halseinschnitte der Glocke (Halsrille, seitliches Drahtlager) festgebunden. Bei Hochspannungsanlagen ist es üblich — wenn der Leitungsdraht nicht zu schwer ist — auch in gerader Strecke den Draht in die Halsrille einzubinden und zwar auf der dem Leitungsmaste zugewendeten Seite, damit beim Reißen einer Bindestelle der Draht

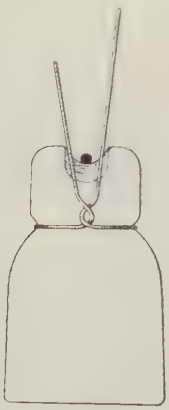


Fig. 271.

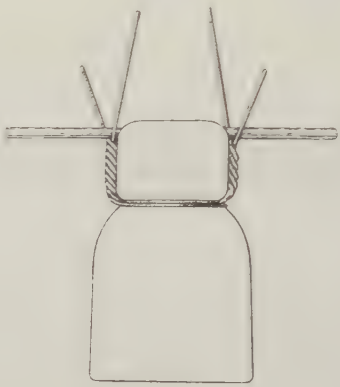


Fig. 272.

nicht frei abfällt, sondern auf die Stützkonstruktion herabgleitet und dort liegen bleibt. Bei eisernen Leitungsdrähten wird als Bindedraht 2 mm starker verzinkter Eisendraht genommen, und zwar für Bindungen im oberen Drahtlager (Kopfbindungen) 2 Drähte von je 50 cm Länge, für Bindungen im seitlichen Drahtlager (Seitenbindungen) ein Draht von 70—75 cm Länge.

Bronzedrahtleitungen werden mit ausgeglühtem Bronzedrahte gebunden, der bei 5, 4, 3, 2, 1,5 mm starken Leitungen 3, 3, 2, 1,5 und 1,5 mm stark ist.

Kopfbindungen (Fig. 271 bis 274). Zwei Bindedrähte sind von entgegengesetzten Seiten um den Hals des Isolators so herumzulegen, daß die beiden Enden in verschiedener Länge (12 und 20 cm) überschießen. Die beiden Enden jedes Bindedrahtes werden auf etwa 20 cm seilartig zusammengedreht und aufwärts gebogen. Von den vier Drahtenden

sind dann die beiden kürzeren je auf einer Seite des Isolators in 4 bis 5 Windungen fest um den Leitungsdraht zu legen, während jedes der längeren Enden über den Kopf der Glocke und die bereits vorhandene kürzere Bindedrahtumwickelung hinweggeführt und dort in ebenfalls 4 bis 5 Windungen fest um den Leitungsdraht gelegt wird.

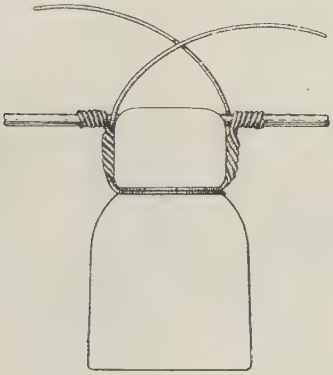


Fig. 273.

Fig. 274.

Seitenbindungen sind stets so auszuführen, daß der Isolator sich innerhalb des vom Leitungsdraht gebildeten Winkels befindet, so daß also die Isoliervorrichtung, nicht aber der Bindedraht den Zug des Leitungsdrahtes auszuhalten hat. Der Bindedraht wird mit seiner Mitte

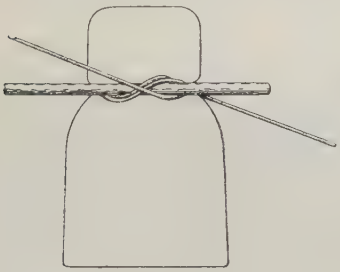


Fig. 275.

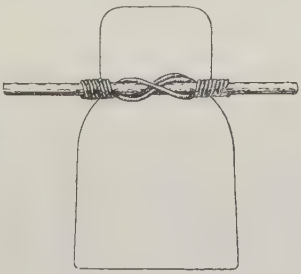


Fig. 276.

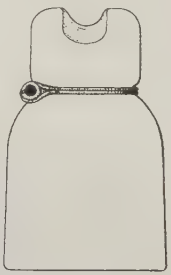


Fig. 277.

über den Leitungsdraht und um den Hals des Isolators gelegt und sodann nach vorn zurückgeführt (Fig. 275 bis 277). Dann wird das von links herumkommende Ende nach der rechten Seite, das von rechts herumkommende Ende nach der linken Seite geführt und in 8 bis 9 Windungen fest um den Leitungsdraht gelegt.

c) Stützen und Befestigung der Isolatoren auf diesen.

Eine größere Anzahl verschiedener Stützenformen ist bereits im Abschnitt III erwähnt. Man kann die Stützen in 3 Grundformen einteilen, nämlich: hakenförmige Schraubenstützen, gerade Stützen und

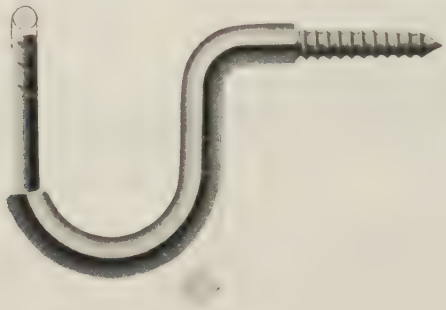


Fig. 278.

Fig. 279.

U-förmige Stützen. Alle Stützen werden, entsprechend den auf ihnen zu befestigenden Glocken, in mehreren Größen hergestellt.

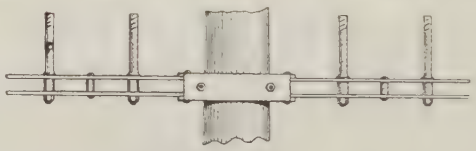


Fig. 280.

Hakenförmige Schraubenstützen (Fig. 278) kommen für Holzstangen zur Verwendung (vergl. Fig. 209 und 219) oder werden in Holzdübel (Fig. 241) oder Holzleisten (Fig. 242) eingeschraubt.

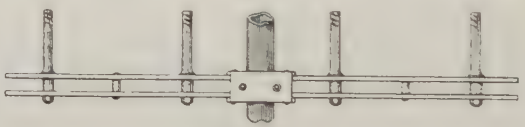


Fig. 281.

Gerade Stützen (Fig. 279) werden auf Querträgern (Fig. 211 und 247). Winkelstützen (Fig. 210) oder Mauerbügeln (Fig. 245 und 246) verwendet. Die Querträger bestehen aus zwei Flacheisenschienen (Fig. 280 und 281), die durch 2 Niete verbunden sind, oder aus ⊏-Eisen und werden mittels Ziehbändern an den Stangen befestigt. Querträger werden für Holzstangen und für eiserne Rohrständer hergestellt.

U-förmige Stützen (Fig. 282) werden bei Eisenkonstruktionen (Querträger, Mauerbügel, Winkelstützen usw.) verwendet, und zwar, um aus dem Linienzuge seitlich ohne Berührung anderer Leitungen herauskommen zu können.

Die Vereinigung einer geraden und einer U-förmigen Stütze zeigt Fig. 283. Diese Anordnung wird besonders zur induktionsfreien Führung von Fernsprechdoppelleitungen benutzt (vgl. Abschnitt V, S. 120).

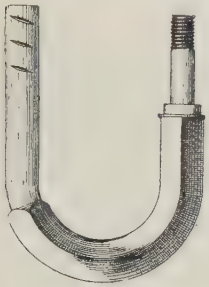


Fig. 282.

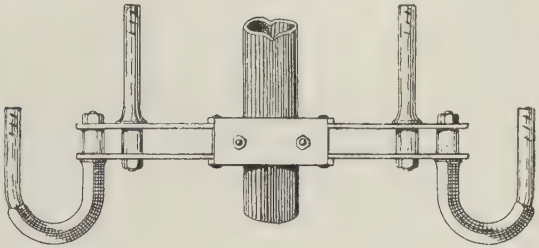


Fig. 283.

Beide Stützenarten werden auch zu einer verbunden hergestellt (sogenannte J-Stützen) und dann für eisernes Gestänge nach Fig. 284 mit Schelle, für hölzernes Gestänge nach Fig. 285 mit Schraube gebaut.

Die Ausladung der gebogenen Stützen (hakenförmige, U- und J-Stützen) muß so groß sein, daß bei aufgedrehter Glocke der Arbeiter

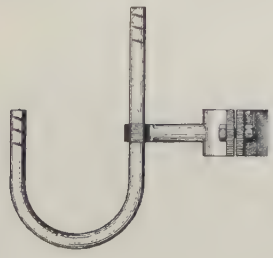


Fig. 284.

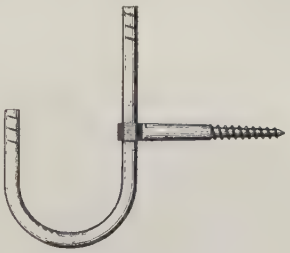


Fig. 285.

bequem ankommen kann und zwischen Glockenrand und Stütze keine Blätter usw. liegen bleiben und Nebenschließungen verursachen.

Die Porzellanfabrik Hermsdorf-Klosterlausnitz stellt zu den von ihr gefertigten Porzellanglocken (vergl. Abschn. III) gerade und gebogene Stützen in beliebigen Abmessungen her.

Zur Befestigung der Isolatoren auf den Stützen werden verschiedene Kitte, Gips, Schwefel und Hanf verwendet.

Die Kitte sind fast durchweg wenig brauchbar, weil sie entweder verschiedene chemische Verbindungen mit dem Eisen der Stütze eingehen oder andere Ausdehnungskoeffizienten als das Porzellan haben und unter Umständen dieses sprengen.

Gips ist nicht genügend fest, saugt Feuchtigkeit an, friert im Winter und sprengt den Isolator.

Schwefel ändert in der freien feuchten Luft gleichfalls sein Volumen (wächst), und sprengt den Isolator.

Das beste Mittel ist Hanf, der in Leinöl oder in eine Mischung von Leinöl und Mennige oder Bleiglätte getaucht und fest auf die Stütze gewickelt wird. Der Isolator braucht dann nur aufgedreht zu werden und kann bei Instandsetzungen am Gestänge ausgewechselt werden, ohne daß die Stütze abgenommen wird. Auch kann der Isolator abgedreht werden, während er bei den übrigen Befestigungsarten zertrümmert werden müßte. Beim Aufdrehen der Glocke ist nur darauf zu achten, daß dies nicht zu weit getrieben wird, damit die scharfen Eisenkanten des Stützenendes die Glocke nicht innen verletzen und den Kopf absprengen. Ist der Isolator, wie dies bei Starkstromanlagen an Winkelpunkten vorkommen kann, stark belastet, so daß die Hanfbefestigung nicht fest genug erscheint, so empfiehlt sich ein Kitt, bestehend aus Bleiglätte und Glyzerin, der rasch erhärtet, nicht treibt und sich chemisch passiv verhält; er ist aber relativ teuer. Ebenfalls gut bewährt hat sich auch Hanf mit Zementleim (alkoholische Schellacklösung), besonders, wenn es sich um schnelle Montage schwerer Leitungen handelt; aber auch dieses Kittmittel ist nicht billig.

D. Stationseinführungen und Abzweigungen.*)

Die Einführung der Leitungen erfolgt verschieden, je nachdem es sich um oberirdische oder unterirdische, eine geringere oder größere Zahl handelt.

Bei der oberirdischen Einführung ist möglichst nicht die Vorder- oder Straßenseite, sondern die Hinter-, Hof- oder Giebelseite zu wählen, bei Hochspannungsleitungen ganz besonders nicht die Wetterseite. Sind wenige Leitungen einzuführen, so ist für jede Leitung besonders ein Loch in die Wand zu stemmen. In die Durchbohrung wird ein Rohr aus Hartgummi, Glas, Porzellan oder dergl. eingesetzt, das mit einer nach unten gerichteten Tülle versehen ist (Fig. 286). Die Leitungen werden an Isolatoren, die unmittelbar unter den Tüllen

*) Vergl. A. Peschel, „Hilfsbuch für die Montage elektrischer Leitungen."

angebracht sind, abgespannt. Sind viele Leitungen einzuführen, so wird eine große zusammenhängende Öffnung im Mauerwerke hergestellt und mit Holz ausgekleidet. Die Einführung der Leitungen erfolgt durch Bleirohrkabel oder isolierte Einzeladern. Hochspannungsleitungen von mehr als 10 000 Volt läßt man am besten frei durch die Maueröffnung eintreten und spannt sie im Innern ab. Ein in genügender Höhe außen angebrachtes Schutzdach hat Schnee und Regen abzuhalten, auch müssen die Drähte nach außenhin Gefälle haben, damit Wasser nicht den Drähten entlang ins Innere fließt. Sind aus irgendwelchen Gründen offene Maueröffnungen unzulässig, so können sie mit imprägnierten Holzsteinen geschlossen werden; dann sind aber an den Drahtdurchgangsstellen starkwandige Porzellan- oder Glasröhren, die nach beiden Seiten weit herausstehen, einzusetzen. Diese

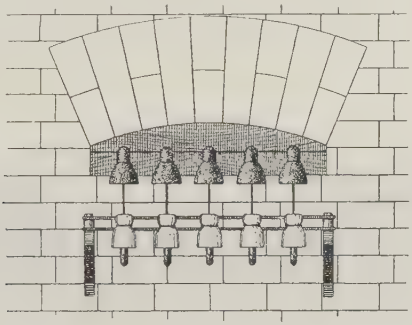


Fig. 286.

werden natürlich auf die Drähte, bevor sie abgespannt werden, aufgeschoben. Wegen weiterer Vorschriften über Einführung von Starkstromleitungen, Wand- und Deckendurchbohrungen, Führung der Leitungen in Gebäuden usw. vergl. „Sicherheitsvorschriften" § 24 und § 26—31.

Die Abzweigung von Leitungen geschieht mittels Lötung, Verschraubung oder gleichwertiger Verbindung. Abzweigungen von festverlegten Mehrfachleitungen müssen mit Abzweigklemmen auf isolierender Unterlage ausgeführt werden. Zum Löten dürfen keine Lötmaterialien verwendet werden, die das Metall angreifen. Bei Verbindungen oder Abzweigungen von isolierten Leitungen ist die Verbindungsstelle in einer der sonstigen Isolierung möglichst gleichwertigen Weise zu isolieren. Die Anschluß- und Abzweigstellen müssen von Zug entlastet sein. Bewegliche Leitungen dürfen an festverlegte Leitungen nur mittels lösbarer Kontakte angeschlossen werden.

E. Schutzvorrichtungen.

1. Schutznetze oder Schutzdrähte werden angebracht bei sich kreuzenden Leitungszügen, damit etwa reißende Drähte des oberen Leitungszuges nicht Berührung mit dem unteren Leitungszuge bekommen; in diesem Falle wird das Schutznetz zwischen beiden Leitungszügen angebracht. Ferner kommen Schutznetze zur Anwendung bei einfachen Leitungszügen, wenn sie Straßen, Wege und Wohnplätze kreuzen und die Möglichkeit besteht, daß durch gerissene und herabhängende Drähte Menschenleben gefährdet werden.

Schutznetze dürfen offen und geschlossen konstruiert sein. In beiden Fällen jedoch muß durch ihre Form und ihre Lage den Leitungsdrähten gegenüber dafür gesorgt sein, daß erstens eine zufällige Berührung zwischen dem Netz und den intakten Leitungsdrähten verhindert wird, und daß zweitens ein gebrochener Draht auch bei starkem Winde sicher abgefangen wird. Diesen Forderungen wird im allgemeinen entsprochen, wenn die Schutznetze seitlich in gleicher Höhe mit den untersten Leitungsdrähten liegen und von diesen genügenden elektrischen und mechanischen Abstand haben. Die Längsdrähte des Schutznetzes bestehen gewöhnlich aus 4 mm starkem verzinkten Eisendrahte, die Querdrähte — in Abständen von nicht mehr als 1 m — aus etwa 2,5 mm starkem Eisendraht. Schutznetze müssen, wo sie nicht gut geerdet werden können, isoliert sein.

Bei Winkelpunkten sind Fangbügel anzubringen, welche beim Bruch von Isolatoren das Herabfallen der Leitungen verhindern („Sicherheitsvorschriften" § 23).

2. Unterbrecher werden mit der Hand, bei Hochspannung unter Vermittelung einer isolierenden Stange bedient (Ausschalter) oder wirken automatisch (selbsttätige Ausschalter, Erdschließer, Schmelzsicherungen). Ausschalter haben meist den Bedürfnissen des regulären Betriebes zu entsprechen, bieten aber häufig auch die letzte Möglichkeit, schwere Betriebsstörungen abzuwenden. Die Kontaktflächen sollen groß und eben sein; sie sollen einander nicht langsam von einem oder wenigen Punkten anfangend berühren, sondern die Berührung soll sich sehr rasch über eine größere Fläche ausdehnen. In Kontakt müssen die Flächen mit großer Kraft festgehalten werden. Die Unterbrechung hat möglichst rasch zu geschehen, um die Bildung von Funken zu verringern. Oft läßt man den äußersten Teil der Kontaktstücke da, wo die Funken zum Vorschein kommen, aus einem schwachen Blech oder aus Kohle bestehen, welche leicht ersetzt werden

können, wenn sie durch häufigen Gebrauch abgenutzt sind. Bei Hochspannungsausschaltern sind diese Mittel ungenügend. Man läßt dann den Lichtbogen zwischen divergierenden Hörnern (Hörnerausschalter) erlöschen oder unterbricht unter Öl (Ölausschalter).

Man kann im allgemeinen auf je 5 Ampere Stromstärke des zu unterbrechenden Stroms 1 qcm Kontaktfläche rechnen (bei gut unterteilten federnden Schlußstücken bis zu 30 Ampere); vergl. „Sicherheitsvorschriften" § 4 und 7.

Die Streckenausschalter werden gewöhnlich als Hebelausschalter gebaut. Bisweilen werden auch die herausnehmbaren Schmelzsicherungen als Unterbrecher benützt. Die Ausschalter werden auf 2 Isola-

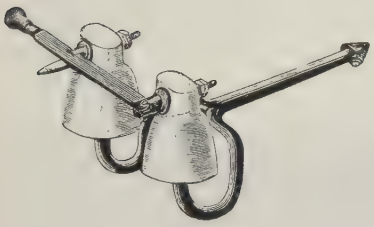


Fig. 287.

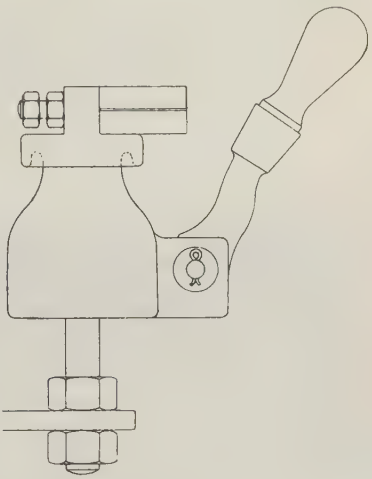


Fig. 288.

toren (Fig. 287), bisweilen auch auf einen Isolator montiert (Fig. 288). Bei dieser Konstruktion bleibt jedoch die Möglichkeit, daß der Isolator beschlägt und dadurch Stromübergang hervorgerufen wird.

3. Blitzableiter*) haben in der Hauptsache den Zweck, atmosphärische Entladungen, die die Leitungen treffen, zur Erde abzuleiten. Sie können dabei auch zum Schutze der Anlage gegen Überspannungen dienen, die in der Anlage selbst entstehen, was allerdings nur bei Starkstromanalagen vorkommt (vergl. S. 152). Die Blitzableiter lassen sich je nach dem Wirkungsprinzip in folgende Gruppen einteilen:

*) Vergl. Über Blitzableiter von Dr. A. v. Waltenhofen 1890; ferner: „Die Schutzvorrichtungen der Starkstromtechnik gegen atmosphärische Entladungen" von Dr. G. Benischke; ferner: Neesen, „Die Sicherungen von Schwach- und Starkstromanlagen."

A. Schwachstromblitzableiter.

1. Blitzschutzvorrichtungen, beruhend auf der durch Beamte zu bewirkenden Einschaltung eines schützenden direkten Nebenschlusses zur Erde.

2. Blitzschutzvorrichtungen, bei welchen selbsttätig durch zu starke Entladungen die zu schützenden Leiter abgeschaltet werden, und zwar

a) durch Benutzung der Wärmewirkung der Entladung,

b) durch elektromagnetische Wirkung,

c) durch elektrostatische Wirkung.

3. Blitzschutzvorrichtungen, die einen Nebenschluß zur Erde mit Unterbrechungsstelle enthalten, und zwar

a) Spitzenblitzableiter und Schneidenblitzableiter,

b) Plattenblitzableiter,

c) Blitzableiter mit Funkenstrecken in luftverdünnten Räumen,

d) Blitzableiter mit Überbrückung der Unterbrechungsstelle durch Widerstände.

B. Starkstromblitzableiter.

Zu den Blitzableitern für Schwachströme müssen im allgemeinen bei Starkströmen Einrichtungen hinzutreten, die den Kurzschluß aufheben, der sich bildet, indem der übergegangene Blitzfunke eine Brücke für die Ableitung des Starkstromes selbst zur Erde bildete.

Es sind neben diesen auch Ableiter vorgeschlagen und teilweise praktisch erprobt, bei welchen die Entstehung eines Kurzschlußfunkens überhaupt ausgeschlossen ist, weil keine unterbrochene Stromleitung vorhanden ist. Unter 1 sind diese, unter 2—9 die Anordnungen zur Aufhebung des Kurzschlußfunkens beschrieben, und zwar

1. Einrichtungen mit Funken in isolierenden Umgebungen von besonderer Art,

2. Einrichtungen, welche durch elektromotorische Gegenkraft wirken,

3. Einrichtungen, auf Unterteilung des Funkens beruhend,

4. Einrichtungen mit direkter mechanischer Bewegung der Teile, zwischen denen Funken übergehen,

5. Einrichtungen mit mechanischer Bewegung durch den Elektromagnet,

6. Einrichtungen mit Abreißvorrichtungen durch Erwärmung fester Körper,

7. solche durch Erwärmung von Luft,

8. Einrichtungen, welche auf dem Verhalten des Funkens im magnetischen Felde beruhen,

9. Einrichtungen, beruhend auf elektrodynamischer Wirkung.

In der Schwachstromtechnik am gebräuchlichsten sind, abgesehen vom Verfahren A 1, die Blitzschutzvorrichtungen nach 2a (Schmelzsicherungen) und 3. Dagegen werden in der Starkstromtechnik hauptsächlich die Verfahren 8 und 9 verwendet. Am bekanntesten ist der auf elektrodynamischer Wirkung beruhende Hörnerblitzableiter von Siemens & Halske (Fig. 289). Eine Abart desselben ist der in Fig. 290 dargestellte Blitzableiter der A. E. G. mit magnetischer Funkenlöschung,

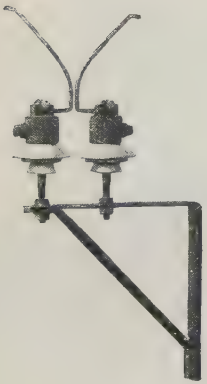


Fig. 289.

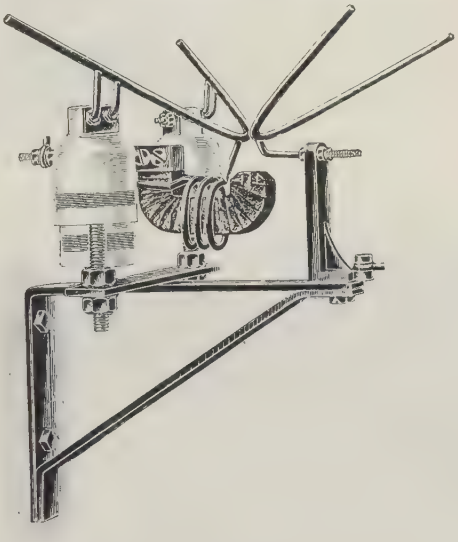


Fig. 290.

wobei der Blasenmagnet zugleich als Drosselspule wirkt. Pro 1000 Volt Betriebsspannung rechnet man gewöhnlich 1 mm Abstand der Hörner, geht aber nicht unter 2 mm.

Eine dritte Form von Blitzableitern, von Wirt angegeben, wird von Voigt & Haeffner in Frankfurt-Bockenheim hergestellt. Der Blitzableiter besteht aus einer Anzahl von Metallplatten, welche abwechselnd mit einer Platte aus nichtleitendem Materiale säulenförmig übereinander angeordnet sind. Die obere Platte ist mit der Leitung, die unterste mit der Erde verbunden (Fig. 291). Ein Blitz kann wegen seiner hohen Spannung von einer Metallplatte zur zweiten und so fort bis zur Erdplatte überschlagen. Ein Lichtbogen der Betriebsspannung

wird bei genügender Länge der Säule nicht entstehen. Der Grund liegt in der bei Wechselstrom beobachteten, nicht Lichtbogen bildenden Eigenschaft gewisser Metalle (Zink und Zinklegierungen), aus denen die Platten hergestellt sein müssen. Eine Abart dieses Blitzableiters ist der besonders in Amerika beliebte Rollenblitzableiter von Wurts. Bei dieser Konstruktion sind an Stelle der Scheiben Rollen mit geringem gegenseitigen Luftabstand nebeneinander angeordnet (Fig. 292).

Die Wirkung der Blitzableiter wird wesentlich unterstützt durch den Einbau von Drosselspulen (ohne Eisen) (Fig. 293) vor die zu schützenden Apparate. Selbstverständlich dürfen die Drosselspulen nie in derjenigen Strombahn liegen, die der Blitz nehmen soll. Über-

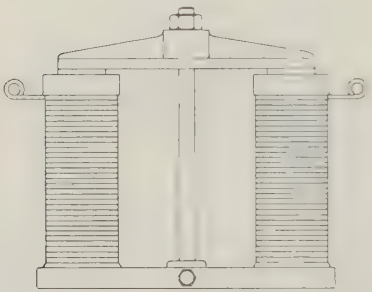


Fig. 291.

Fig. 292.

haupt muß die Erdleitung bei Blitzableitern möglichst kurz und ohne allzu scharfe Biegungen und Zacken sein. Man wird im allgemeinen gut tun, in jeder zu schützenden Leitung mehrere Blitzableiter und Drosselspulen einzubauen, so daß Teilentladungen, die vom ersten Blitzableiter nicht mehr abgeleitet wurden, dann vom nächstfolgenden abgefangen werden (in Fig. 294 für einen Leitungsdraht dargestellt). Abgesehen von direkten atmosphärischen Entladungen, sind Fernleitungen (selbst bei klarem Himmel) auch langsamer statischer Ladung ausgesetzt. Um diese dauernd auszugleichen bezw. abzuleiten, ehe sie sich durch Durchschlagen der Isolation bemerkbar gemacht haben, verwendet man am besten hohe Widerstände (Wasserwiderstände) im Nebenschluß nach Erde. Diese liegen dann parallel zu den Blitzableitern (vgl. Benischke E. T. Z.

1902, S. 552). Auch die durch freie Schwingungen (vergl. S. 153) im Stromkreise selbst auftretenden Spannungserhöhungen finden, wie eingangs gesagt, durch die erwähnten Vorkehrungen einen Ausgleich zur Erde.

Die Erdplatten sollen möglichst im Grundwasser oder fließenden Wasser liegen (vergl. § 22 der Sicherheitsvorschriften). Sie be-

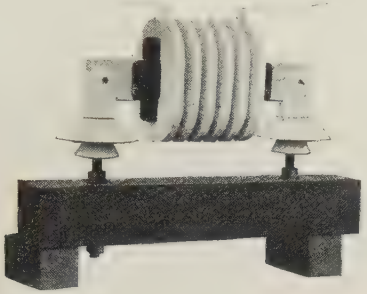


Fig. 293.

stehen entweder aus massiven Kupfer- oder verzinkten Eisenblechen oder besser aus Drahtnetzen oder aus dem zu einem Ringe von 5 bis 6 Lagen aufgerollten Erdleitungsdrahte selbst.*) Ist der Grundwasserspiegel sehr veränderlich, so daß die Erdplatte trocken werden könnte, so tut man besser, die Erdplatte in eine reichliche Koksbettung ein-

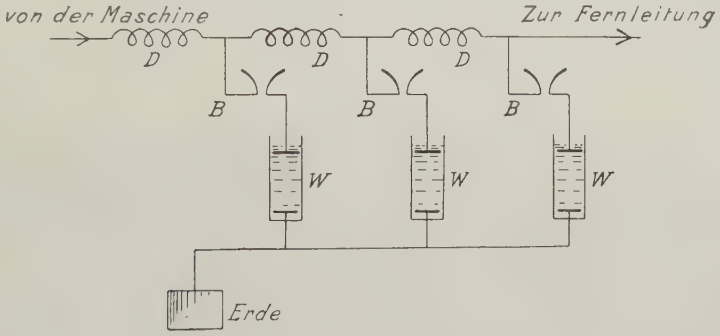


Fig. 294.

zulegen. Die Verbindung zwischen Erdleitung und Erdplatte erfolgt am besten durch Vernietung oder Verschraubung, die durch eine Verlötung unterstützt werden kann. Durch Asphaltlack oder

*) Kupferblech 2 mm dick, Eisenblech 3 mm dick, einseitige Fläche etwa 1—1,5 qm. Drahtnetz aus 3,5 mm Kupferdraht mit etwa 8 cm Maschenweite.

Diamantfarbe schütze man besonders die Verbindungsstellen gegen Oxydation.

Da der Übergangswiderstand einer guten Erde niedrig ist, so können bei höheren Betriebsspannungen durch das Funktionieren der Blitzableiter heftige Kurzschlüsse entstehen. Um diese zu vermeiden, schaltet man bisweilen in die Erdleitung induktionsfreie Dämpfungswiderstände, bestehend entweder aus Kohlestäben (Fig. 292) oder Tonröhren, gefüllt mit Wasser (Fig. 294). Damit bei hohen Spannungen keine gefährlichen Spannungsdifferenzen im Bereich der Erdplatten entstehen, verbindet man die Erdplatten miteinander, oder verwendet nur eine einzige Erdplatte; dies setzt aber voraus, daß Dämpfungswiderstände verwendet werden (Fig. 294).

VII. Hausinstallation.

Von C. Leichtenschlag.

Auf dem weiten Gebiete der Hausinstallation spielt von allen dabei zur Verwendung kommenden Materialien unbestritten das Hartfeuerporzellan die bedeutendste Rolle. Bei der Mehrzahl der Installationsapparate und bei allem Leitungszubehör kommt außer Eisen, Messing und Kupfer überhaupt nur noch Porzellan zur Anwendung, und zwar nicht nur als Isolationsmaterial, sondern auch oftmals an Stelle von Metall als Konstruktionsmaterial, und dies nicht zum mindesten infolge seiner leichten und verhältnismäßig exakten Herstellungsweise, wobei die kostspielige nachträgliche Bearbeitung wie bei anderen Materialien vollständig in Wegfall kommt.

Die Elektrotechnik findet gerade in dem Hartfeuerporzellan, weil es so vorzüglich für Installationsmaterial geeignet ist, einen Stoff von unschätzbarem Werte. Die bis vor wenigen Jahren für allgemeine Beleuchtungszwecke übliche Netzspannung von 65 und 110 Volt wäre sicher nicht auf die jetzt gefahrlos angewendete Spannung von 250 und 500 Volt zu erhöhen möglich gewesen, wenn die Isolierung der Leitungen gegen Erde und die Isolierung der Pole in den Apparaten gegeneinander bei kleinen Abmessungen nicht durch die mittlerweile hoch entwickelte Stanzporzellantechnik zu erreichen gelungen wäre.

Um die Fabrikation des Stanzporzellans zu ihrer heutigen Vollkommenheit zu bringen, bedurfte es langer Jahre und fortwährender Anregungen durch die Bedürfnisse der Installationstechnik. So ist es zu erklären, daß erst, nachdem Isolatoren schon viele Jahre hindurch millionenweise aus Porzellan hergestellt waren, die ersten schwachen Versuche gemacht wurden, das Porzellan mit Hilfe der Stahlmatrizen auch für Hausinstallationsmaterial nutzbar zu machen.

Bis dahin wurde in allen Fällen das schwerfällig zu bearbeitende Hartgummi, Fibre, Steinnuß oder Holz verwendet, häufig auch griff

man zu Marmor oder Schiefer, aber auch Zement und selbst Gips mußten zuweilen an dessen Stelle verwendet werden.

Obgleich sich Steingut oder Fayence in ähnlicher Weise verarbeiten läßt, ist Porzellan doch zu keiner Zeit durch die Konkurrenz dieser Materialien merklich beeinflußt worden. Dies hat in erster Linie seine Ursache in der unangenehmen Eigenschaft des Verwitterns und der geringeren Festigkeit dieser Materialien, nicht zum wenigsten aber auch in dem geringen elektrischen Widerstand und vor allem in der unvermeidlichen Hygroskopie.

Aber auch Glas, welches dem Porzellan in mancher Hinsicht ebenbürtig ist und sich wie dieses stanzen resp. pressen läßt, hat niemals oder doch kaum merklich in der Elektrotechnik an die Stelle von Porzellan treten können, trotz der vielfachen Anstrengungen der Glastechnik. Der Grund hierfür ist wohl zum Teil der hohe Preis des Preßglases, vor allem aber seine größere Sprödigkeit und Wärmeempfindlichkeit.

Schon seit längerer Zeit versuchte man, aus irdenem, zement- oder schieferartigem Preßgut Isolierkörper wie Sockel und Unterlagscheiben, wohl auch Isolierrollen herzustellen, jedoch mit stets mehr oder weniger negativem Erfolg, so daß die Porzellantechnik eine Konkurrenz für den elektrotechnischen Bedarf nicht zu befürchten hat, im Gegenteil erweitert sich das Verwendungsgebiet des Porzellans in dem genannten Industriezweig in merklicher Weise. Beispielsweise findet die bisher so häufig verwendete lackierte Pappe in neuerer Zeit in dem Porzellan einen schon nicht mehr gering zu schätzenden Konkurrenten. Wo irgend möglich werden Unterlagscheiben, Griffe, Deckplatten, Schutzkappen und Schutzkästen nicht mehr aus Pappe, sondern gleichfalls aus Porzellan gemacht. Bestimmend hierfür war wohl in den meisten Fällen die Beständigkeit und das gefälligere Aussehen des Porzellans, so daß die größere Zerbrechlichkeit und das Gewicht hierfür in Kauf genommen werden konnten, zumal in vielen derartigen Fällen der Kostenunterschied zugunsten des Porzellans recht erheblich ist.

Besonderen Einfluß hatte das Porzellan auf die Verlegung der Leitungen.

Es muß ihm als Verdienst angerechnet werden, daß die feuergefährlichen Holzleisten, welche zur Einbettung der Drähte dienten, als unzulässig verworfen wurden (Sicherheitsvorschriften des Verb. d. El. 1904, § 15.

Es werden an Stelle dessen jetzt Porzellandoppelklemmen (Fig. 295—297) verwendet oder die Leitungen einzeln auf Porzellan-

rollen oder -glocken verlegt; sie halten die Leitungen in vorschriftsmäßigen Abständen von der Wand und vermeiden die Berührung untereinander (siehe Sicherheitsvorschriften d. Verb. d. El. 1904, § 17).

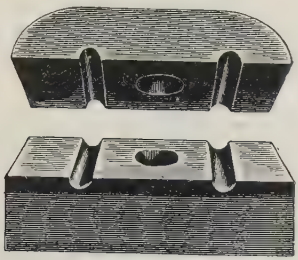


Fig. 295.

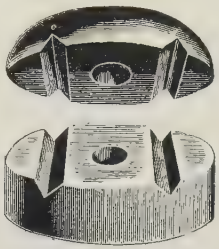


Fig. 296.

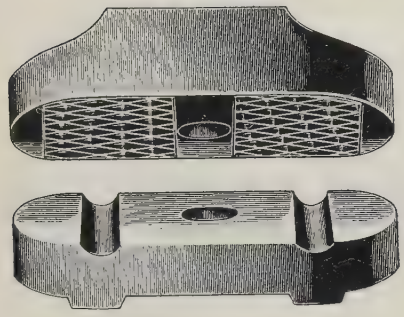


Fig. 297.

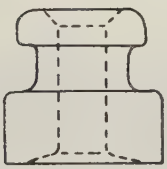


Fig. 298.

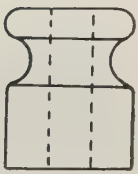


Fig. 299.

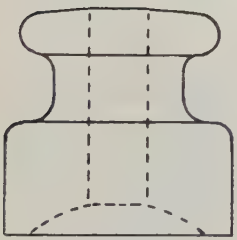


Fig. 300.

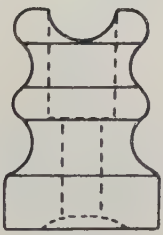


Fig. 301.

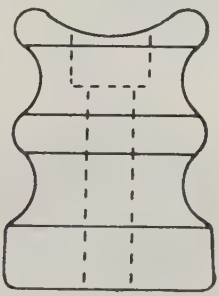


Fig. 302.

Die Rolle (Fig. 298—305) hat wohl noch am meisten von allen Verlegungsmitteln ihre Bedeutung gewahrt; ihre allgemeine Verwendung wurde durch die mittlerweile erhöhte Betriebsspannung wenig beeinflußt, wennschon sie hierdurch allmählich an Größe zunahm und ihre Form zur Erzielung größerer Oberflächenisolation erheblich ver-

ändert werden mußte. Im § 16 der Sicherheitsvorschriften des Verb. d. El. wird als Material hierfür an erster Stelle Porzellan genannt. Besonders interessant sind unter anderen Rollen für feuchte Räume (Fig. 303—305 und 68 und 69 S. 64), wie Sudhäuser, Kellereien, Bergwerke, Akkumulatorenräume usw., die schon mehr die Gestalt von Isolatoren annehmen.

Fig. 303.

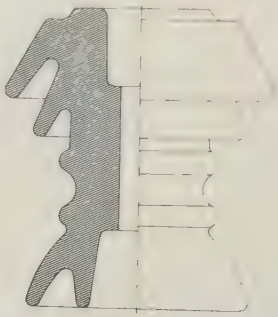


Fig. 304.

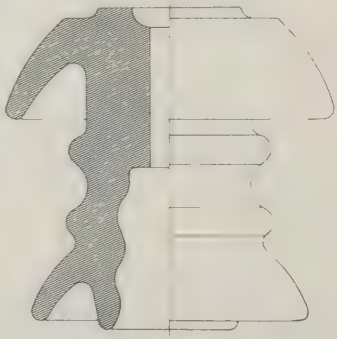


Fig. 305.

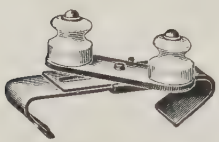


Fig. 306.

Fig. 307.

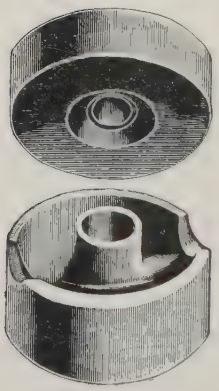


Fig. 308.

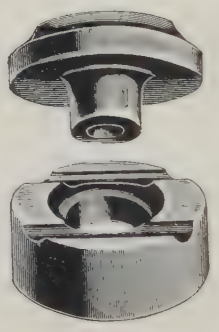


Fig. 309.

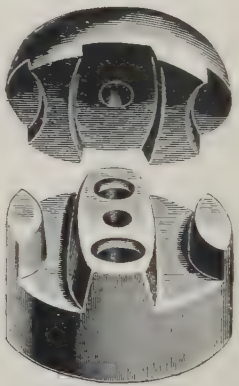


Fig. 310.

Die gewöhnlichen Rollen werden meistens paarweise (Fig. 306) oder zu dreien auf einen gemeinschaftlichen Eisendübel oder in größerer Anzahl auf ein Bandeisen gesetzt (Fig. 307); auch befinden sie sich häufig auf Schellen oder Klammern, welche unmittelbar an eisernen Trägern befestigt werden können.

Eine fast allgemeine Verbreitung für Doppellitzen findet die eigentliche Klemmrolle (Fig. 308—310), die aus zwei axial durchbohrten Stücken, dem Fuß- und dem Klemmstück, besteht. Zwischen beiden Teilen liegt die Doppellitze. Durch die gemeinschaftliche Befestigungsschraube wird das Klemmstück gegen den Fuß und dieser gegen die Wand gepreßt und somit an dieser befestigt. Statt der Holzschrauben und Holzdübel werden in diesem und vielen anderen Fällen zur Befestigung von Porzellanrollen usw. häufig mit großem Vorteil in den allerverschiedensten Variationen Stahldübel benutzt.

Die Klemmrolle erscheint in ihrer Form und Größe ohne Zweifel unscheinbar und von geringer Bedeutung, und doch übt sie auf die ganze Hausanlage einen nicht unwesentlichen Einfluß aus. Hierdurch erklärt sich auch das unablässige Bemühen, die Klemm- oder Befestigungsrollen zu verbilligen und in elektrischer und mechanischer Hin-

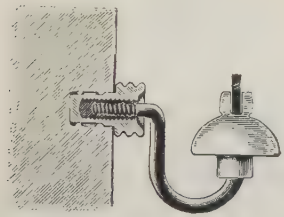


Fig. 311.

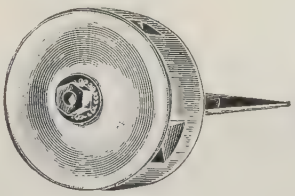


Fig. 312.

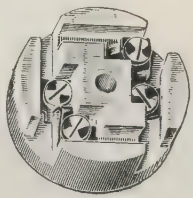


Fig. 313.

sicht zu vervollkommnen. Häufig versucht man auch hierbei billigere Materialien wie Porzellan zu verwenden, bisher jedoch ohne durchschlagenden Erfolg.

Auch die Stützen von Isolatoren werden bisweilen, um den Schutz gegen Erdschluß noch zu erhöhen, in Porzellandübel gesetzt (Fig. 311).

Eine gewisse Rolle spielt das Porzellan bei Verbindung und Abzweigung von Leitungen, die man neuerdings nur selten verlötet, sondern lieber durch geeignete Metallklemmen leitend verbindet. Als Unterlage für derartige Klemmen dient ein Porzellansockel mit Deckel (Fig. 312—317). Derartige Abzweigsockel oder -scheiben, auch wohl Klemmrollen genannt, kommen in den allerverschiedensten Formen vor. Sie sind in der Regel von tiefen Nuten durchfurcht oder auch von Kanälen durchbohrt, um den Leitungen die nötige Führung und Übersichtlichkeit zu geben. Obgleich der Verband Deutscher Elektrotechniker derartige Abzweigvorrichtungen nur für Litzen vorschreibt (Sicherheitsvorschriften des Verb. d. El. § 26) finden derartige Dosen oder Abzweigscheiben auch bei Drähten vielfache Verwendung, so bei-

spielsweise in großer Anzahl bei Leitungsverlegung in Schutzrohren als sogenannte Abzweigringe. Derartige Ringe (Fig. 318) liegen in

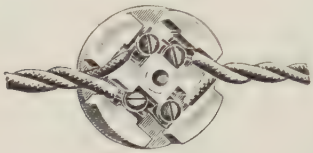


Fig. 314.

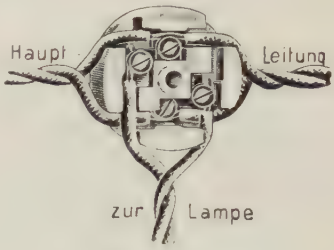


Fig. 315.

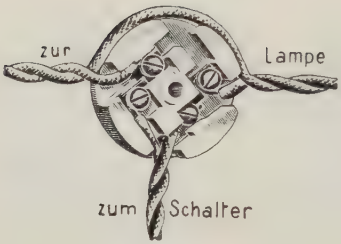


Fig. 316.

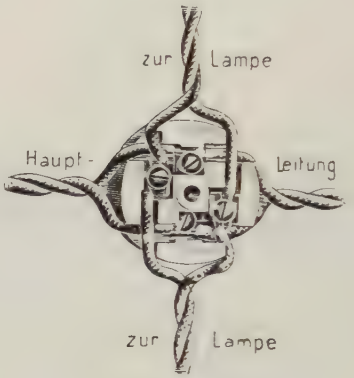


Fig. 317.

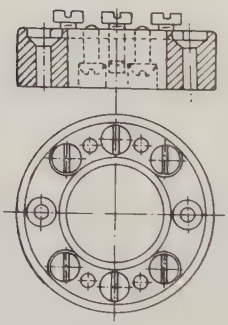


Fig. 318.

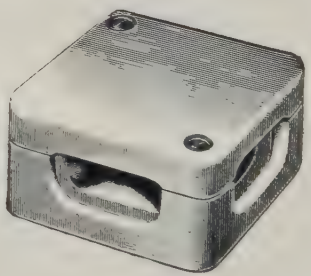


Fig. 319.

der eigentlichen Abzweigdose, in welche die Leitungsrohre münden, oder es besteht, wie in neuerer Zeit mehrfach ausgeführt wurde, Abzweigscheibe und Dose aus einem Stück (Fig. 319 und 320), so dass auch hier wieder die Pappe von dem festeren Porzellan überholt wird.

Um Leitungen, ganz gleich welcher Verlegungsart, durch Wände zu führen, bedient man sich der Wanddurchführungshülsen. Diese stellen sich je nach Verwendung als kurze oder lange Porzellanröhren dar (Fig. 321 und 322), werden aber auch gekrümmt mit trompetenartiger Erweiterung, Isolierglocke oder Einführungstrichter ver-

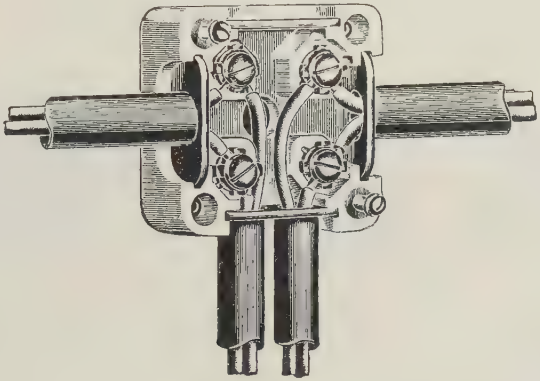


Fig. 320.

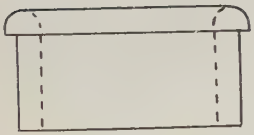


Fig. 321.

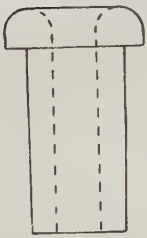


Fig. 322.

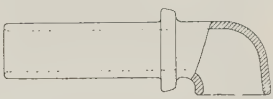


Fig. 323.

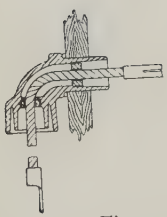


Fig. 324.

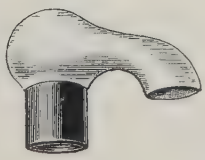


Fig. 325.

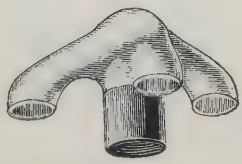


Fig. 326.

wendet (Fig. 323 und 324), letztere bei Einführung von Freileitungen in Gebäude. Sie sind in solchen Fällen meist mit Befestigungsflanschen versehen.

Bei Masteinführungen stellen sie zuweilen mehrfach verzweigte Porzellanrohre dar, deren gemeinsames Hauptrohr, in welches sie endigen, in einen Metallgewindestutzen ausläuft (Fig. 325 und 326).

Ein ungemein großes Gebiet findet das Porzellan bei der Konstruktion von Schaltern, Fassungen (Fig. 327), Anschlußdosen usw. Bevor es jedoch allgemein zur Benutzung kam, hatte es auch hier eine ganze Reihe von Vorgängern aus dem Felde zu schlagen. Vor allem war es der Schiefer, der jetzt nur noch hier und da für größere Hebelschaltersockel verwendet wird; aber auch Fibre und Holz wurden trotz der schwerfälligen Bearbeitung für obige Zwecke benutzt.

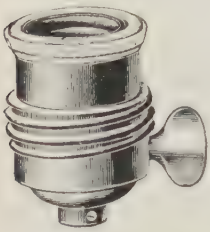


Fig. 327.

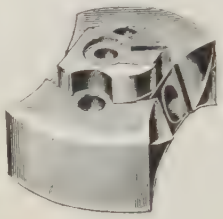


Fig. 328.

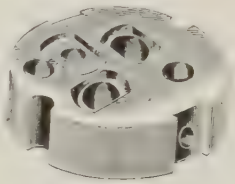


Fig. 329.

Die günstige Formbarkeit übte natürlich sehr bald weitgehende Änderungen in der Konstruktion der Sockel und somit auch der ganzen Apparate aus. Das Porzellan kam hierbei auch nicht nur für Isolationszwecke, sondern auch wieder als Konstruktionsmaterial vorzüglich zur Geltung.

Die Fortschritte in der erwähnten Konstruktion der Apparate machten sich besonders in der Konstruktion der Fassungen geltend

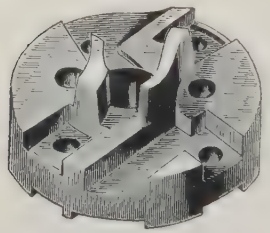


Fig. 330.

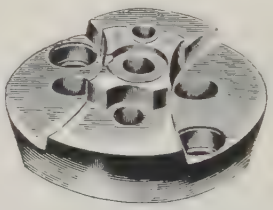


Fig. 331.

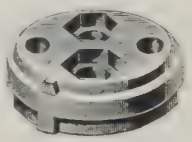


Fig. 332.

(Fig. 328—332). Als der Porzellanfassungsstein demjenigen aus Fibre oder Holz gegenübertrat und diesen zu verdrängen trachtete, ähnelte er demselben noch vollständig. Er stellte eine einfache ebene Platte dar mit Bohrungen zur Aufnahme der Befestigungsschrauben für die Metallteile. Obwohl es nahe lag, die alte, unvorteilhafte Form der Sockel zu verlassen und solche an deren Stelle zu setzen, welche günstigere Anordnung der Metallteile und billigere Gestaltung derselben zuließ, verging geraume Zeit; erst seit einigen Jahren gibt man den Fassungs-

steinen die verschiedenartigsten Formen und kam hierdurch besonders bei den Edisonfassungen mit Hahn zu denkbar mannigfaltigsten Konstruktionen (Fig. 333). Aber auch andere Fassungssysteme, wie das der Swanfassungen, haben infolge der Eigenschaften des Porzellans sehr wesentliche Änderungen erfahren.

Für Spezialzwecke wie Schaufenster- und Effektbeleuchtung entstanden besondere Arten von Fassungen, bei denen der Sockel zugleich den Fuß der Lampe bildet, beispielsweise bei Wand- und Deckenfassungen; oder es erhielt der Sockel eine Form, welche bei Illuminations- oder Sofittenbeleuchtung bei bequemem Anschluss der Lampen an die isolierte oder blanke Leitung zugleich verschiedenartige Stellungen derselben zuließ.

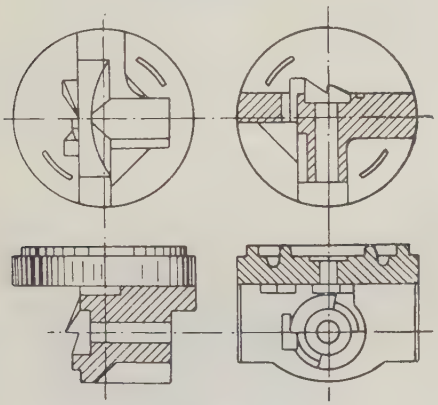


Fig. 333.

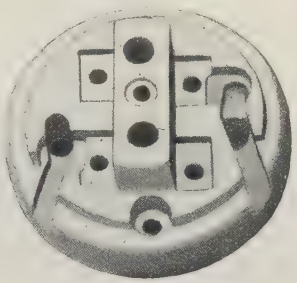


Fig. 334.

Eine besondere Fassungstype bilden diejenigen, bei denen nicht nur der Sockel und der über das Fassungsgewinde geschraubte Zierring, sondern auch der, sonst von diesem gehaltene Metallschutzmantel aus Porzellan besteht. Bei einigen Konstruktionen wird auch der vorher genannte Ring nach unten zum Mantel erweitert resp. verlängert und, indem wieder das Porzellan mit Glas und Metall in Konkurrenz tritt, zum Reflektor ausgebildet.

Die Wandanschlußdosen erhielten bald, nachdem man sie in Porzellan ausführte, eine der Porzellanfabrikation angepaßte Form. Aus der kostspieligen, umfangreichen und unschönen Anschlußdose mit konzentrischen Kontakten entstand die zierliche Anschlußdose mit nebeneinander stehenden Hülsen und dem dazu gehörigen Stecker. Ähnlich den Wandanschlüssen sind die Deckenrosetten und Hängeanschlüsse aus Porzellan konstruiert worden (Fig. 334—338).

Bei Apparaten, die ihrer Größe wegen nicht aus Porzellan herzustellen sind, hat man sich dennoch die Isolierfähigkeit des Porzellans dienstbar gemacht, indem man das schlecht oder wenig isolierende Material mit Porzellan ausfüttert oder den ganzen Apparat auf Rollen, Füße oder Porzellanecken setzt (Fig. 339).

Fig. 335.

Fig. 336.

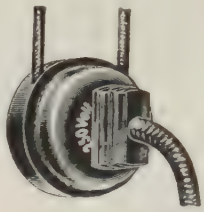


Fig. 337.

Bei wasserdichten Gußeisenkästen spielt das Porzellan bei der Dichtung der Wände und durch diese geführten Leitungen eine Rolle. Mehr oder weniger lange Tüllen müssen hier sowohl dichten, wie auch gegen den Eisenkörper isolieren.

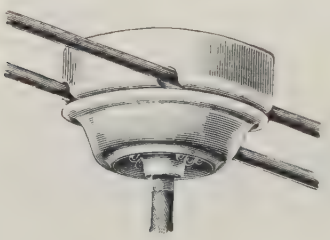


Fig. 338.

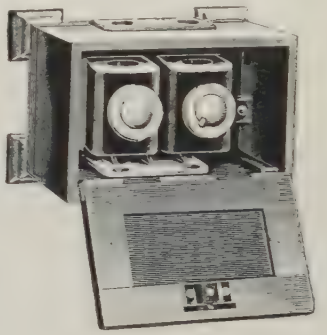


Fig. 339.

Eine ähnliche Kombination zwischen Eisen und Porzellan findet man bei Wandarmen für Glühlampen. In vielen Fällen wird zum Schutz gegen Erdschluß der Sockel resp. die Rosette aus Porzellan hergestellt (Fig. 340).

Einen sehr breiten Raum nimmt das Porzellan auf dem Gebiete der Straßenbeleuchtung, der Bergwerks-, Fabrik- und Kellereieninstallation ein. Hierher gehören die wasserdichten Porzellanausschalter, die unempfindlich gegen Spritzwasser und Säuredampf sind, da sie in allen

ihren nicht stromführenden Teilen aus Porzellan bestehen, sowohl das Gehäuse als auch die übergeschraubte Kappe und der zuweilen mit Öl gedichtete Griff.

Noch interessantere und schwierigere Formen nehmen die Körper der Glühlampenarmaturen für die eben genannten Industrie-

Fig. 340.

zweige an (Fig. 341 und 342). Bei der Herstellung dieser Armatur kommen infolge ihres komplizierten Baues zuweilen alle möglichen Fabrikationsverfahren gleichzeitig zur Anwendung. Das genaue Einhalten der Schraubgewinde für die Glasglocke ist hierbei bemerkenswert, es können hier, auf den Durchmesser bezogen, nur Differenzen von 2 % zugelassen werden.

Fig. 341.

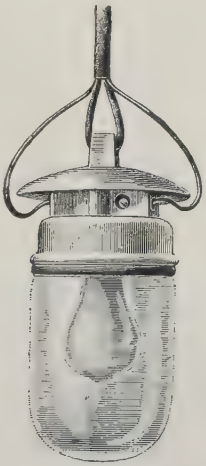


Fig. 342.

Auch aus Glas hat man Armaturen herzustellen versucht, ohne jedoch nennenswerte Erfolge verzeichnet zu haben, obgleich hierbei das gleichzeitige Einpressen von Metallteilen sehr vorteilhaft erscheinen muß.

Wie das Porzellan sich sein Feld zu erobern wußte bei der Konstruktion von Glühlampenfassungen und -armaturen, so fand es auch

schließlich vorzügliche Verwendung beim Bau der Glühlampe selbst. Wenn auch erst seit kürzerer Zeit, so verdrängt es doch trotz des höheren Preises hier die Gips- und Zementfüße und schafft die Möglichkeit, hochvoltige Lampen zu bauen.

Da das Aufbringen von Gewinde keinerlei Schwierigkeiten macht, formt man für Edisonfüße Porzellanknöpfe, welche mit dem Mittelkontakt belegt sind und in den metallischen Fuß eingeschraubt werden (Fig. 343). Für höhere Anforderungen hat man jedoch den ganzen unteren Teil der Fassung aus Porzellan hergestellt und über diesen den Messinggewindering geschraubt (Fig. 344).

Bei Swanfüßen verwendet man äußerst zierlich geformte Zylinderstücke, welche fast ohne Spielraum in die Messinghülse passen müssen,

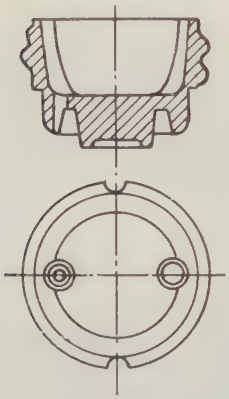


Fig. 343.

Fig. 344.

Fig. 345.

und hier durch die Einkerbungen gehalten werden. Seit Jahren schon hatte man für Swanlampen Füße mit eingepreßtem schwarzem Glase (Vitrit) hergestellt, denen nunmehr Porzellanfüße ebenbürtig zur Seite treten (Fig. 345).

Von ganz besonderer Wichtigkeit ist das Porzellan bei der Konstruktion der Installationssicherungen. Auch auf diesem Gebiete hat sich die Porzellantechnik ein bedeutendes Verdienst an der stets wachsenden Vervollkommnung der Sicherungen erworben.

Die ersten Installationssicherungssockel bestanden, wie auch viele der vorher erwähnten Apparate, aus Holz. Dementsprechend war auch ihr Bau weder schön noch konstruktiv, sondern plump und einfach. Je nach Anzahl der Pole wurde ein Brett von etwa 30 mm Stärke in der Mitte mit einer oder mehreren Bohrungen zur Aufnahme des aus Blech gedrückten Edisongewindekorbes versehen. Von diesem aus-

gehend, verliefen für jeden Pol ein Längskanal für die Zuleitungs- und für die mit dem Gewindekorb verlöteten Ableitungsschienen. Der die beiden Schienen verbindende Sicherungsstöpsel war gleichfalls aus Holz gedrechselt.

Sonderbarerweise haben sich obige Formen des Holzsockels und auch die des letztgenannten Edisonstöpsels bis heute erhalten, wennschon sie durch neue, den Erfordernissen der modernen Installationstechnik entsprechende Konstruktionen seit einiger Zeit fast ganz verdrängt sind.

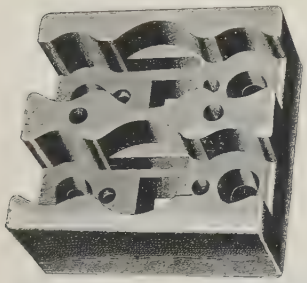


Fig. 346.

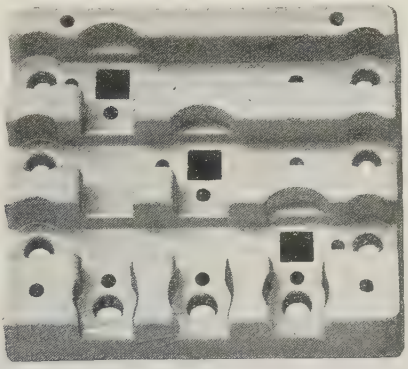


Fig. 347.

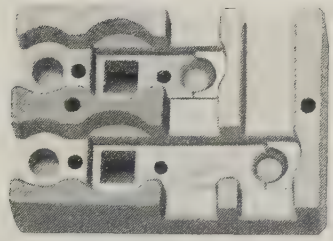


Fig. 348.

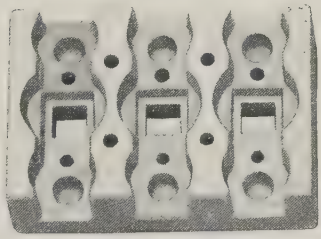


Fig. 349.

Die Möglichkeit der Herstellung von Sicherungssockeln aus Porzellan bewirkt nicht nur eine Vervollkommnung des Sockels selbst, sondern auch eine gewisse Vereinfachung der Sicherungssysteme.

Die früheren Holzsockel ließen wegen ihrer hohen Bearbeitungskosten nur sogenannte Durchgangssicherungen zu, neben diesen wohl auch noch Abzweigsicherungen mit zwei oder drei Quernuten für die Steigleitungen und entsprechenden, von den Gewindekörben ausgehenden Abzweignuten. Diese Hauptformen waren im wesentlichen diejenigen, die auch bei Einführung des Porzellans in der gleichen Form beibehalten wurden. Man baute damals ein-, zwei- und drei-

polige Durchgangs- und entsprechende Abzweigsicherungen; diese jedoch außerdem noch für je einen Abzweig zu beiden Seiten der Steigleitung (Fig. 346—349).

Fig. 350.

Fig. 351.

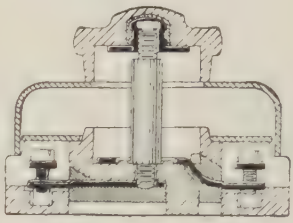


Fig. 352.

Vorstehende Abbildungen (Fig. 350—352) zeigen einige Einzelsicherungen eines von der Firma Siemens & Halske, A.-G., eingeführten

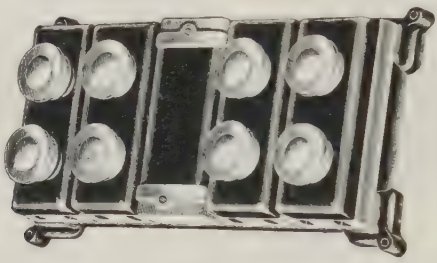


Fig. 353.

Systems, das von dem bis jetzt betrachteten in bezug auf die Anordnung der Schmelzpatronen gänzlich abweicht.

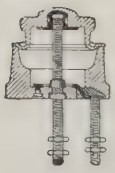


Fig. 354.

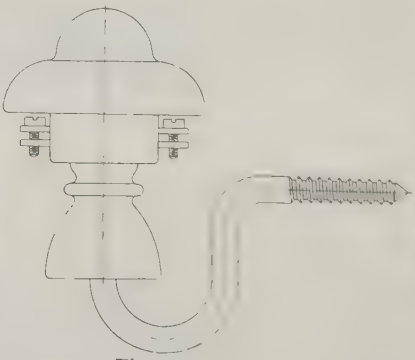


Fig. 355.

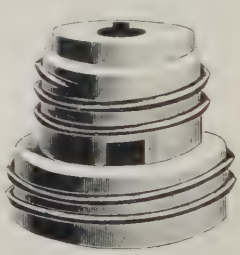


Fig. 356.

Als den Bestimmungen des Verbandes Deutscher Elektrotechniker gemäß Sicherungen möglichst zentralisiert werden mußten, wurden neben den Sockeln der oben erwähnten Art noch solche für Verteilungs-

sicherungen geschaffen (Fig. 353). Sicherungen, die ausschließlich auf Schalttafeln aus Marmor oder Schiefer verwendet werden, haben ein sehr großes Anwendungsgebiet gefunden wegen ihrer Billigkeit. Die Anschlußkontakte werden als Bolzen durch die Schalttafel geführt, an die die Leitung mittels zweier Muttern befestigt wird (Fig. 354). Es erhielten durch diese Spezialkonstruktionen besonders Verteilungstafeln ein recht elegantes Aussehen.

Auch für Freileitungssicherungen, die bei der Abzweigung von Leitungen, z. B. in kleineren Zentralen, sehr wertvoll sind, wird Por-

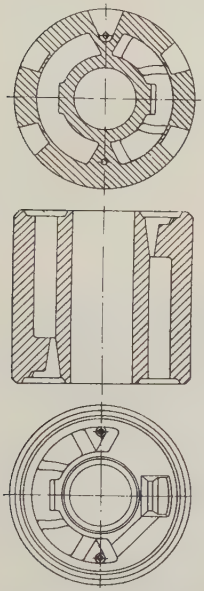


Fig. 357.

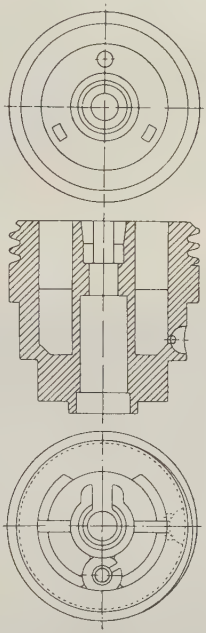


Fig. 358.

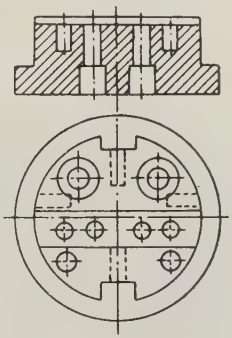


Fig. 359.

zellan vielseitig verwendet. So erscheint besonders zierlich und fast von eleganter Form die nebenstehend abgebildete Freileitungssicherung (Fig. 355).

Von Bedeutung ist das Porzellan auch für die in sehr großen Quantitäten verbrauchten Sicherungsstöpsel oder -patronen. Wennschon man in elektrischer Beziehung mit anderen Materialien wie Ton, Zement, Ambroin und dergleichen gleichwertige Resultate erzielen würde, bevorzugt man Porzellan doch wegen seiner bekannten und schon mehrfach erwähnten spezifischen Eigenschaften, vor allem wegen der billigen, exakten Herstellung.

Die Anfertigung von Edisonstöpseln aus Porzellan versteht sich von selbst, weil das Aufbringen des von Metallringen überdeckten Gewindes einerseits und der Metallkappe andererseits in keinem Material gleich billig und haltbar zu machen wäre (Fig. 356). Aber auch Patronen ohne eigenes Gewinde, die früher aus Zement gepreßt wurden, werden jetzt aus Porzellan hergestellt (Fig. 357 und 358). Die noch übrig bleibenden kleineren Sicherungseinsätze, die jetzt noch als Glasrohrpatronen ausgeführt werden, sind gleichfalls schon mehrfach durch kleine, einfache Porzellankörper ersetzt worden.

Nicht in letzter Linie ist das Porzellan zu erwähnen beim Bau von Dosenschaltern. Auch bei diesen zeigt es sich wieder nicht nur seiner isolierenden Eigenschaften wegen, sondern auch infolge seiner billigen, exakten Formbarkeit als besonders vorteilhaft.

So kam es, daß allmählich der glatte, von Hand bearbeitete Schiefersockel dem billigeren, aus Porzellan gepreßten Sockel weichen mußte. Die Konstruktion der Dosenschalter bekam durch das nun verwendbare Material bald eine ganz andere Richtung, so daß die vielen vordem versuchten, recht komplizierten Dosenschaltertypen in kurzer Zeit durch höchst einfache Porzellanschalter ersetzt wurden (Fig. 359), die fast ausschließlich als Drehschalter gebaut werden und die mehr aus Metall bestehenden hebelartig wirkenden Schalter für den Kontinent gänzlich verdrängten.

Die jetzt gebräuchlichen Schalter bestehen in der Hauptsache stets nur aus dem festen, die Kontakte und Anschlüsse aufnehmenden Sockel und dem zentral angeordneten, drehbaren, mit Metall belegtem Schaltstück aus Porzellan. Diese letztere ist für die Ausbildung der Schalter besonders typisch geworden.*)

Die älteste Form dieses drehbaren Stromschlußstückes ist die Schaltwalze, Würfel oder Trommel, mit dicht am Porzellan anliegenden Metallbelegen als Stromschlußkontakte, gegen welche weiche Anschlußkontaktfedern schleifen. Die Metallbelege sind sehr verschiedenartig angeordnet; meist liegen sie auf der Mantelfläche, häufig auf einer oder beiden Stirnflächen, zuweilen auch auf beiden zugleich.

Die neuere Ausführung des rotierenden Stromschlußkörpers zeigt diesen mit hervorstehenden Kontaktmessern, -brücken, -bürsten oder -federn, welche zumeist bei Stromschluß gegen starre Anschlußschleif-

*) Die Vorschriften des Verb. d. El. über Konstruktion und Prüfung von Installationsmaterial gestatten für Schalter keine entflammbaren Materialien, sodaß hierfür kaum irgend ein anderes Material übrig bleibt als Porzellan.

kontakte geschnellt werden. Ihrem Aussehen entsprechend werden sie im Gegensatz zur Walze „Stern" genannt (Fig. 360 und 361).

Wie die Gestalt, so wurde auch der Schaltmechanismus vom Porzellan beeinflußt. Hierzu dient mit wenigen Ausnahmen die erstgenannte Schaltwalze. Sie ist zuweilen so gestaltet, daß sie nach der Drehung des Handgriffes von dem während der Betätigung desselben gespannten Kontaktfedern eine Strecke weiter in der Drehrichtung be-

Fig. 360.

Fig. 361.

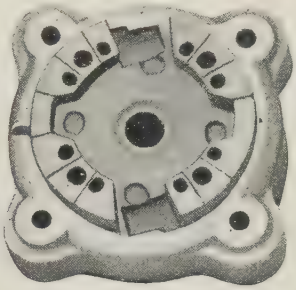


Fig. 362.

wegt wird, ohne daß sie von der Hand festgehalten werden könnte. Derartige Schlagwürfelschalter werden auch für höhere Leistungen verwendet und auch mit Schaltstern ausgeführt.

Da die Ansprüche an die Leistungen der Drehschalter immer mehr gesteigert wurden, sind die mannigfaltigsten Konstruktionen aufgetreten. Sie unterscheiden sich prinzipiell von den eben genannten Walzenschaltern durch besondere Spann- und Auslösevorrichtungen

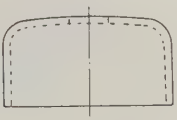


Fig. 363.

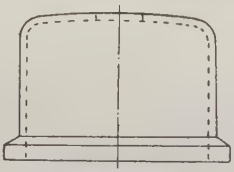


Fig. 364.

mit Torsionsfeder oder dergleichen. Diese Schalterkonstruktionen bedingen eine besonders große Festigkeit der Sockel (Fig. 362), um den harten Schlägen der Torsionsfeder widerstehen zu können; überhaupt wird auf die Ausbildung der Schaltersockel viel Gewicht gelegt, da sie für den bequemen Anschluß der Leitungen bestimmend sind und dieselben in dem vorgeschriebenen Abstand von der Wand halten müssen. Neuerdings erhalten die Sockel für Montage auf der Wand Aussparungen zur Einführung der die Leitungen aufnehmenden Schutz-

rohre. Diese Ausführungsart ist auf Grund der Sicherheitsvorschriften des Verb. d. El. notwendig geworden.

Besonders die großen Schalter, unter denen einige Durchmesser bis zu 200 mm haben, müssen in bezug auf die Befestigung an der Wand sachgemäß konstruiert sein.

Mit großem Geschick müssen auch Porzellankappen dimensioniert werden; man hält sie vorteilhaft möglichst kräftig und frei von Vor-

Fig. 365.

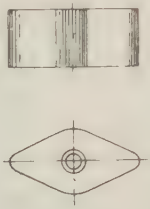


Fig. 366.

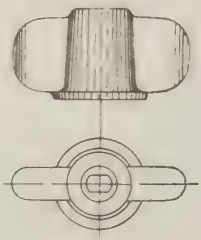


Fig. 367.

sprüngen oder Ansätzen, welche das Abdrehen unmöglich machen würden (Fig. 363 und 364).

Schalter mit dosenförmigem Sockel sind, wenn der kranzförmige Rand nicht sehr gut versteift werden kann, nicht zu empfehlen. Dagegen fertigt man Griffe in allen Größen sehr vorteilhaft aus Porzellan (Fig. 365—369).

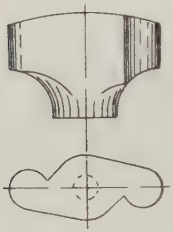


Fig. 368.

Fig. 369.

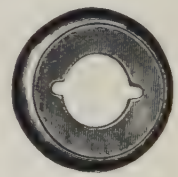


Fig. 370.

Auch für Unterlagscheiben ist Porzellan ein sehr geeignetes Material (Fig. 370).

Die letztgenannten Gegenstände, wie auch viele andere zum Teil schon erwähnte Zubehörteile wurden bislang fast ausnahmslos aus anderen Materialien hergestellt, weswegen die Annahme nicht unberechtigt erscheint, daß es der Installationstechnik bald möglich sein wird, sich noch für weitere Gebiete die nutzbringenden Fortschritte der rastlos vorwärts strebenden Porzellanindustrie dienstbar zu machen.

VIII. Isolationsmessungen und Fehlerortsbestimmungen an elektrischen Anlagen.

Von R. Skutsch.

A. Allgemeine physikalische Begriffe.

Die zunächst zu gebenden Definitionen behandeln zur Vereinfachung alle Körper entweder als Leiter oder Nichtleiter, obwohl der Unterschied tatsächlich nur quantitativ und die Scheidung demgemäß willkürlich ist.

Absolut isoliert werde ein bestimmter geometrisch abgegrenzter leitender Körper genannt, wenn seine Oberfläche ausschließlich von Nichtleitern berührt wird. Einem absolut isolierten Körper kann man gegen jeden anderen Leiter eine Spannungsdifferenz erteilen, ohne daß ein Strom entsteht. Bringt man eine Anzahl absolut isolierter Leiter in leitende Verbindung, so ist nunmehr die entstehende Leitergruppe absolut isoliert.

Relativ isoliert nennen wir zwei Leiter, wenn es keinen Weg vom einen zum andern gibt, auf welchem keine Nichtleiter passiert würden. Wenn man zwei relativ isolierten Leitern eine Spannungsdifferenz gegeneinander erteilt, so entsteht kein Strom.

Isolationsfehler sind leitende Stellen in den als Nichtleiter vorausgesetzten Stoffen; sie sind im allgemeinen nur dann von Bedeutung und auch mit den gewöhnlichen Methoden nur dann auffindbar, wenn sie sich von einem Leiter zum anderen erstrecken. Es lassen sich auch sozusagen verzweigte Isolationsfehler denken, welche mehr als zwei Leiter verbinden, diese Möglichkeit ist aber noch nie erörtert worden und es wird auch im folgenden davon abgesehen.

Wir können dann noch einen weiteren Begriff einführen und bezeichnen als ideell isoliert zwei Leiter, zwischen denen sich keine Isolationsfehlerstelle befindet. Wenn man zwei ideell isolierten Lei-

tern eine Spannungsdifferenz erteilt, so kann ein Strom entstehen; es geschieht dies z. B., wenn ein dritter Leiter existiert, gegen welchen die beiden ersten nicht ideell isoliert sind.

Der Begriff der Isolation in dem vorstehend gebrauchten Sinn ist aber nur eine Abstraktion, da es vollkommene Nichtleiter überhaupt nicht gibt, und es ist sogar bei den hier zu beschreibenden Messungen vor Versuchsergebnissen, welche scheinbar eine vollkommene Isolation anzeigen, vor sogenannten negativen Bestimmungen, aus naheliegenden Gründen zu warnen; man wird stets so empfindliche Instrumente anzuwenden suchen, daß man ein Maß für den Vollkommenheitsgrad der Isolation erhält. In diesem Sinne wird die Isolation zu einer meßbaren Größe und zwar kann man ihr die Dimension eines elektrischen Widerstandes zuschreiben.

Als Maß der absoluten Isolation eines Leiters benutzt man insbesondere den elektrischen Widerstand zwischen diesem Leiter einerseits und sämtlichen anderen Leitern andrerseits. Die Messung ist mit beliebiger Annäherung ausführbar, indem man alle diejenigen Leiter, welche irgend in der Nähe des zu untersuchenden Leiters sich befinden, miteinander verbindet, dieser Leitergruppe gegen den Leiter eine Spannungsdifferenz erteilt und dieselbe durch den entstehenden Strom teilt. Dieser Strom, welcher bei Vorhandensein von eigentlichen Isolationsfehlern eine auffallende Stärke annimmt, heißt der Fehlerstrom.

Als Maß der ideellen Isolation zweier Leiter dient der Widerstand, welchen sie aufweisen würden, wenn sämtliche übrigen Leiter beseitigt wären und ihr Platz durch Nichtleiter ausgefüllt wäre. Dieser Wert läßt sich zwar nicht unmittelbar beobachten, wohl aber aus einer Anzahl meßbarer, und zwar absoluter Isolationen, einfach berechnen. Sieht man nämlich, wie schon oben vorausgesetzt wurde, von der Möglichkeit verzweigter Isolationsfehler ab, so gelten die Sätze: „Der reziproke Wert der absoluten Isolation eines Leiters ist gleich der Summe der reziproken Werte der ideellen Isolationen desselben" und: „Der reziproke Wert der absoluten Isolation einer Leitergruppe ist gleich der Summe der reziproken Werte der ideellen Isolationen der einzelnen Leiter der Gruppe, in welche Summe aber die ideellen Isolationen zwischen den Leitern der Gruppe nicht einzubeziehen sind." Die Sätze folgen einfach daraus, daß die ideellen Fehlerströme in Parallelschaltung den gesamten Fehlerstrom ergeben. Über die Berechnung der ideellen aus den absoluten Isolationen vermittels linearer Gleichungen vgl. E.T.Z. 1897 Heft 10.

Bei Bewertung der relativen Isolation zweier Leiter darf man nicht übersehen, daß es im allgemeinen von sehr großem Einfluß auf die Größe des Fehlerstromes ist, ob einige der in der Nähe befindlichen Leiter untereinander oder gar mit einem oder dem andern der zu prüfenden Leiter verbunden sind. Hierüber enthalten z. B. die Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker keine unzweideutige Angabe, trotzdem aber in § 2 zahlenmäßige Mindestwerte für die relative Isolation. Messungen der relativen Isolation sind übrigens für eine wirklich zahlenmäßige Beurteilung des Isolationszustandes einer Anlage unzweckmäßig. Denn weder gibt die relative Isolation von zwei Leitern ein zuverlässiges Maß für die Größe und Gefährlichkeit der zwischen ihnen liegenden Fehler — in einem System von 4 Leitern ist z. B. bei gleicher relativer Isolation zweier von ihnen der Fehler zwischen denselben doppelt so groß, wenn die übrigen relativen Isolationen den gleichen Wert haben, als wenn sie vollkommen sind — noch sind sie wegen der zu lösenden unbequemen Gleichungen zur Berechnung der ideellen Isolationen geeignet (vgl. E.T.Z. 1895 Heft 8).

Die Trennung der Fehler bis zur Feststellung der ideellen Isolationswiderstände ist Aufgabe der Isolationsmessungen. Die weitere Aufgabe, den Ort des oder der Fehler an einem bestimmten Leiter aufzusuchen, wird durch die Methoden der Fehlerortsbestimmung gelöst.

B. Allgemeines über Isolationsmessungen an elektrischen Anlagen.

Zu den wichtigsten Aufgaben der Elektrotechnik gehört diejenige, einen erzeugten Strom bestimmten Verbrauchsapparaten mit geringsten Verlusten zuzuführen. Es muß also vermieden werden, daß zwischen den Schienen oder Leitungen, zwischen welchen die Verbrauchsapparate liegen, außer dem die letzteren passierenden Nutzstrom noch parallel dazu unbenutzte Ströme auf unvorhergesehenen Wegen fließen. Die Vermeidung solcher Fehlerströme, welche einen Energieverlust bedeuten, ist nicht sowohl im wirtschaftlichen Interesse erwünscht, als teils schlechthin zur Aufrechterhaltung des Betriebes erforderlich (Schwachstromanlagen), teils aus Sicherheitsgründen geboten, da ein auf unvorhergesehenen und darum vielleicht der Zersetzung oder Erhitzung ausgesetzten Wegen fließender Strom durch allmähliche Zerstörung den Fortbestand der Anlage gefährden oder auch geradezu Brände verursachen kann (Starkstromanlagen).

Die so gestellte Aufgabe scheint gelöst, wenn sämtliche Leitungen einer Anlage, zwischen welche Verbrauchsapparate geschaltet werden sollen, untereinander relativ isoliert sind.

Indessen begnügt man sich hiermit nicht, sondern prüft auch noch die relative Isolation der Leitung gegen sonstige Leiter, welche durch ihre Nähe an der untersuchten Anlage den Gedanken nahe legen, daß zwischen ihnen und den Leitern der Anlage keine vollkommene Isolation besteht, vor allem also die relative Isolation gegen Erde. Es ist nämlich wichtig, einen Fehler dieser Art zu beseitigen, ehe sich weitere einstellen, weil natürlich z. B. zwei Isolationsfehler verschiedener Leitungen gegen Erde gleichzeitig auch der relativen Isolation der beiden Leitungen gegeneinander ein Ende machen würden.

C. Isolationsmessungen an toten Leitern.

Obgleich Isolationsmessungen wesentlich nichts anderes sind, als Widerstandsmessungen, so erfordern sie doch Berücksichtigung verschiedener Besonderheiten. Man hat zunächst zu bedenken, daß es sich bei diesen Messungen von Fehlern, deren Ort und Art unbekannt sind, häufig um elektrolytische Fehlerleitungen durch Leiter zweiter Klasse handeln mag und wird infolgedessen eine Isolationsmessung nur dann als zuverlässig ansehen dürfen, wenn die ganze Betriebsspannung dabei zur Anwendung kam. Man sollte sich also bei nicht ganz kleinen elektrischen Anlagen mit der Anwendung sogenannter Isolationsprüfer, kleiner transportabler Apparate in Kästchen, welche außer dem Meßinstrument zugleich eine Stromquelle in Form einiger Trockenelemente oder eines Magnetinduktors enthalten, nicht begnügen, trotzdem hier die Bequemlichkeit der Handhabung eine häufigere Benutzung ermöglicht, sondern außerdem von Zeit zu Zeit Messungen bei hoher Spannung vornehmen. Aus demselben Grunde empfehlen auch die Sicherheitsvorschriften in § 2c bei Isolationsmessungen gegen Erde, die letztere zur Anode zu machen*), weil sonst elektrolytische Wirkungen den Fehler durch Polarisation verschleiern könnten.

Ferner hängt in den meisten Fällen die gefundene Isolation von dem Zeitpunkt der Messung ab. Denn ganz abgesehen davon, daß sich die zu messende Widerstandsgröße tatsächlich oft sehr rasch mit der Zeit verändert, machen sich z. B. bei längeren Kabeln Ladungserscheinungen in der Art bemerkbar, daß der beobachtete Fehlerstrom

*) Negativer Pol der Stromquelle an die zu messende Leitung!

nach Anlegen der Batterie zuerst rasch, dann langsamer abnimmt. Nach § 2c der Sicherheitsvorschriften soll die Messung teils aus diesem Grunde, teils der erwähnten elektrolytischen Wirkungen wegen erst erfolgen, nachdem die Leitung während zwei Minuten der Spannung ausgesetzt war.

Im übrigen sind für Isolationsmessungen an toten Leitern die bekannten Verfahren der Widerstandsmessung ohne weiteres anwendbar. Man kann vor allem die einfache Methode des direkten Ausschlags benutzen, d. h. man stellt einen Stromkreis her, in welchem ein Galvanometer G, eine Batterie B von bekannter elektromotorischer Kraft e und der unbekannte Isolationswiderstand w liegen (s. Fig. 371). Ist der übrige Widerstand des Stromkreises w′, und beobachtet man einen Fehlerstrom i, so ist

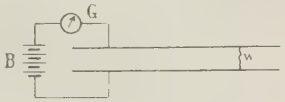


Fig. 371.

$$w + w' = \frac{e}{i},$$

woraus w berechnet werden kann. Selbstverständlich bedient man sich je nach der Höhe des zu erwartenden Widerstandes mehr oder weniger empfindlicher Meßinstrumente. Für elektrische Anlagen ist ein gewöhnliches Galvanometer, welches etwa noch Hundertstel Ampere abzulesen gestattet, völlig ausreichend; als gut verwendbar ist z. B. das bekannte Siemenssche Universalgalvanometer zu nennen, dessen Skala Milliampereteilung besitzt. Um das Galvanometer mit seinem verhältnismäßig geringen Eigenwiderstand vor unerwartet starken Fehlerströmen zu schützen, kann man zwischen Stromquelle und Galvanometer einen Vorschaltwiderstand von einigen Hundert Ohm legen, welcher auch bei schlechtester Isolation keinen gefährlichen Strom aufkommen läßt, bei normaler Isolation aber die Empfindlichkeit der Messung wenig beeinträchtigt. Man zieht es aber gewöhnlich vor, das Galvanometer unter Anwendung von geeigneten Nebenschlußwiderständen zunächst nur mit einem kleinen Bruchteil des gesamten Fehlerstromes zu beschicken. Diese Nebenschlußwiderstände werden zur Erleichterung der Rechnung so gewählt, daß ihre reziproken Werte vermehrt um den reziproken Wert des Galvanometerwiderstands runde — besonders dekadische — Vielfache des letzteren Wertes sind, da offenbar der gesamte Fehlerstrom dasselbe Vielfache des Galvanometerstromes ist. Allgemein üblich ist dieses Verfahren insbesondere bei Messung hoher Isolationswiderstände, z. B. bei Messungen an einzelnen Kabeln oder Kabelstücken, wobei als Meßinstrument einzig und allein das Spiegelgalvanometer in Frage kommt. Die Empfindlichkeit dieses In-

struments, d. h. der Strom oder Widerstand, welcher einem Skalenteil entspricht, wird bekanntlich vor jedem Versuch durch Messung eines Widerstandes von bekannter Größe festgestellt. Bei Messung der Isolation bereits verlegter Kabelstücke erfolgt der Transport des Spiegelgalvanometers nebst Zubehör gewöhnlich in einem zugleich als Dunkelkammer eingerichteten Meßkarren; als transportable Stromquelle dient in diesem Fall eine von einem zweiten Karren aufgenommene Sammlerbatterie, während bei Untersuchung ganzer außer Betrieb gesetzter Anlagen bei einiger Umsicht die Betriebsdynamo selbst als Stromquelle benutzt werden kann.

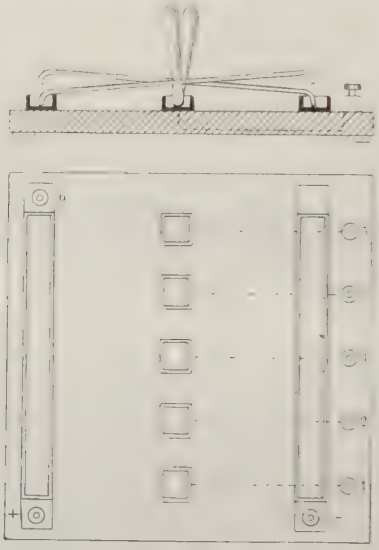


Fig. 372.

Man mißt am besten die absoluten Isolationen der einzelnen Leitungen oder solche von Leitergruppen, indem man alle übrigen Leitungen ebenso wie den positiven Pol der Stromquelle erdet, den negativen Pol der Stromquelle mit der einen und die zu untersuchende Leitung oder Leitergruppe mit der andern Klemme des Galvanometers verbindet. Besonders wenn es sich um eine größere Anzahl auf gegenseitige Isolation zu prüfender Leiter handelt, wird man einen besonderen Schaltapparat, wie er in Fig. 372 dargestellt ist, mit Vorteil benutzen. An die Klemmschrauben 1 bis 5 werden die zu prüfenden Leiter durch Meßleitungen dauernd angeschlossen, an 6 eine Erdleitung und an die mit + und — bezeichneten Klemmschrauben die Pole der Stromquelle. Es ist dann aus der

Figur ersichtlich, daß auch die in der Mitte des Apparats angeordneten Quecksilbernäpfchen durch die punktierten Drahtverbindungen an die Leiter geschlossen sind und die letzteren durch Umlegen der Bügel nach der einen oder andern Seite vermittels der beiden langgestreckten Quecksilbernäpfe an den positiven oder negativen Pol der Stromquelle gelegt werden. Im Grundriß der Abbildung sind die Bügel nicht eingezeichnet. Der Apparat ist eine Erweiterung des unter dem Namen Doppeltaster bekannten Gerätes.

Insofern es sich wirklich um tote Leiter handelt, d. h. insofern man sicher ist, daß außer der angewendeten Stromquelle keine elektromotorischen Kräfte in den zu prüfenden Leitern tätig sind, reicht die Methode des direkten Ausschlags völlig aus, und es wäre verkehrt, größere Genauigkeit der Resultate etwa durch Brückenmessungen zu erstreben. Es ist aber immerhin nicht ausgeschlossen, daß eine Beeinflussung durch Erdströme oder, wenn es sich z. B. um ausgeschaltete Teile einer im Betrieb befindlichen Anlage handelt, durch benachbarte Leitungen stattfindet und hiervon würde man sich durch Anwendung der sogenannten verallgemeinerten Wheatstoneschen Brücke unabhängig machen.

Die Wheatstonesche Brücke ist in Fig. 373 dargestellt. E sei eine Stromquelle, G ein Galvanometer, die Widerstände der einzelnen Leitungsstücke mögen durch die ihren Enden (den Knotenpunkten) angeschriebenen Buchstaben in Klammern bezeichnet werden. Denkt man sich zunächst den Galvanometerzweig BB′ fort und hat A gegen C die Spannung e, so fließt durch ABC ein Strom $\frac{e}{(AB)+(BC)}$, durch AB′C ein Strom $\frac{e}{(AB')+(B'C)}$. Hieraus folgt für die Spannung von A gegen B bzw. B′ der Wert $\frac{e(AB)}{(AB)+(BC)}$ bzw. $\frac{e(AB')}{(AB')+(B'C)}$. Sind also diese Werte gleich, so haben B und B′ gleiche Spannung und man kann den Galvanometerzweig einfügen, ohne daß das Galvanometer einen Strom erhält. Die Bedingung hierfür kann man aber umformen zu der Proportion:

$$(AB):(AB')=(BC):(B'C).$$

Diese Beziehung zwischen den 4 Widerständen der „Seitenzweige", deren Erfüllung sich durch Stromlosigkeit des Galvanometers anzeigt, benützt man bekanntlich, um einen unbekannten Widerstand durch drei bekannte auszudrücken. Durch eine einfache Überlegung findet man ferner, daß dieselbe Beziehung zwischen den 4 Wider-

ständen auch dann besteht, wenn beliebige elektromotorische Kräfte in den Seitenzweigen und dem Galvanometerzweig der Brücke tätig sind, sofern nur der Ausschlag des Galvanometers als unabhängig von Öffnung oder Schließung des „Batteriezweiges" sich erweist. Denn haben bei offenem Batteriezweig die Punkte A und C eine beliebige Spannungsdifferenz e, so kann man offenbar eine Stromquelle von der elektromotorischen Kraft e zwischen A und C schalten, ohne eine Veränderung der Spannungs- und Stromverteilung der Brücke zu verursachen. Nachdem man auf diese Weise den Batteriezweig geschlossen hat, kann man aber die elektromotorische Kraft e auf irgend einen Wert e′ verändern, ohne daß sich die Stromstärke im Galvanometerzweig ändert, da hierbei einfach die durch e′—e hervorgerufenen Stromstärken sich den ursprünglichen superponieren und insbesondere

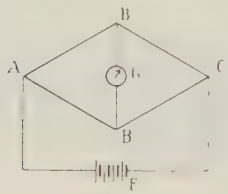


Fig. 373.

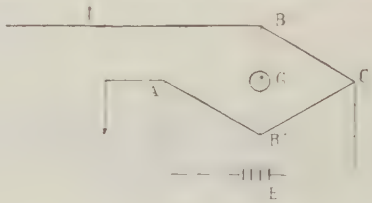


Fig. 374.

im Galvanometerzweig bei Proportion der Seitenzweigwiderstände durch elektromotorische Kräfte im Batteriezweig, wie oben bewiesen war, Ströme nicht hervorgebracht werden.

Fig. 374 stellt dar, wie z. B. die Isolation einer Leitung l gegen Erde mit Wheatstonescher Brücke gemessen wird: die Leitung l ist an Punkt B angeschlossen, der Punkt A geerdet. Setzt man voraus, daß der Widerstand der Leitung l gegenüber dem Isolationswiderstand w vernachlässigt werden kann, so hat man nach Einstellung des Brückengleichgewichts — etwa durch einen in einen Seitenzweig geschalteten Rheostaten —

$$w = \frac{(AB') \cdot (BC)}{(B'C)}.$$

Zu erwähnen ist schließlich noch die in der Kabelmeßtechnik verwendete Methode der Messung sehr hoher Isolationswiderstände durch Beobachtung von Ladungserscheinungen, die man als elektrostatische bezeichnen darf. Gewöhnlich wird durch die Isolation hindurch ein Kondensator entladen oder geladen; die nach einer bestimmten Zeit entwichene oder aufgespeicherte Elektrizitätsmenge wird durch ein

ballistisches Galvanometer geleitet und durch den Ausschlag seiner Nadel gemessen.

D. Fehlerortsbestimmungen an toten Leitern.

Die Lösung der Aufgabe der Fehlerortsbestimmung hängt hauptsächlich davon ab, ob in dem betreffenden Leiter ein oder mehrere Fehler vorhanden sind. Mehr als ein Fehler läßt sich nämlich in einem gegebenen Leitungsstück, von welchem nur die Enden zugänglich sind, auf keine Weise bestimmen, dagegen läßt sich wenigstens noch feststellen, ob mehr als ein Fehler vorhanden ist. Bei der Beschreibung der Meßverfahren nehmen wir zunächst an, daß nur ein Fehler existiert und geben nachträglich in einigen Fällen das Kennzeichen für das Vorhandensein zweier Fehler an.

Für die Methoden der Fehlerortsbestimmung macht es, wie sich zeigen wird, keinen wesentlichen Unterschied, ob es sich um einen Fehler gegen Erde oder um einen Fehler zwischen zwei Leitungen — einen Kurzschluß — handelt. Es kommt nur im ersteren Fall sehr darauf an, ob für die Messung eine Rückleitung — z. B. ein Prüfdraht — zur Verfügung steht, so daß man zwischen den beiden Enden der zu untersuchenden Leitung beliebige Verbindungen zu Meßzwecken herstellen kann, oder ob dies nicht zutrifft, während man bei Aufsuchung eines Kurzschlusses natürlich immer die Erde als Rückleitung verwenden kann, sofern kein Erdfehler vorhanden ist. Bei diesen Messungen bezeichnet man Leiter und Rückleitung als Schleife und spricht demzufolge von Schleifenmessungen.

Das Gemeinsame an den nachstehend beschriebenen bekannten beiden Schleifmethoden ist die Ausgestaltung der Schleife zu einer Wheatstoneschen Brücke derart, daß der Fehlerort zum Knotenpunkt der Brücke wird, der Fehler in einen Diagonalzweig — und zwar am besten in den Batteriezweig — und die durch den Fehlerort unterschiedenen beiden Teile der Leitung in zwei benachbarte Seitenzweige der Brücke fallen. Durch diese besondere Anordnung der Schleife wird nämlich bewirkt, daß die Größe des Fehlers auf die Ortsbestimmung keinen Einfluß hat.

Die Murraysche Schleifenmethode wird durch Fig. 375 veranschaulicht. Die beiden Teile, in welche der Fehlerort die Schleife zerlegt, sind hier mit den betreffenden beiden Seitenzweigen der Brücke identisch, zu deren Ergänzung man sich in bekannter Weise entweder eines ausgespannten Meßdrahtes oder eines Widerstandskastens be-

dient. Das Verhältnis der Widerstände der beiden Leitungsteile ist bei Brückengleichgewicht gleich dem Verhältnis der am Widerstandskasten gestöpselten Widerstände oder gleich dem Teilverhältnis des Schleifdrahtes; ist die ganze Schleife gleichartig, d. h. haben Hin- und Rückleitung überall den gleichen Widerstand per Längeneinheit, so gibt das gefundene Verhältnis unmittelbar den Fehlerort durch das Verhältnis, in welchem er die Länge der Schleife teilt.

Die Murraysche Schleife zur Ermittelung eines Kurzschlusses unter Verwendung der Erde als Rückleitung ist in Fig. 376 dargestellt. Da der

Fig. 375.

Fig. 376.

Widerstand der Erdleitung vernachlässigt werden kann, so ergibt die Messung direkt das Verhältnis der beiden Teile der an Erde gelegten Leitung.

Die Varleysche Schleifmethode führt Fig. 377 vor. Die Schleife bildet bei dieser Methode erst zusammen mit einem veränderlichen

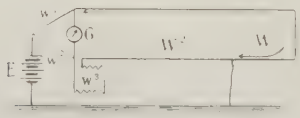


Fig. 377.

Fig. 378.

Widerstand w_3 zwei Seitenzweige der Brücke, während die beiden andern Seitenzweige aus zwei unveränderlichen Widerständen w_4 und w_5 bestehen. Man hat nun offenbar bei Brückengleichgewicht:

$$W_1 : W_2 + w_3 = w_4 : w_5 ,$$

$$W_2 w_4 = W_1 w_5 - w_3 w_4 ,$$

$$W_2 (w_4 + w_5) = (W_1 + W_2) w_5 - w_3 w_4 ,$$

$$W_2 = \frac{(W_1 + W_2) w_5 - w_3 w_4}{w_4 + w_5} .$$

Die Varleyschaltung zur Ermittelung eines Kurzschlusses und unter Verwendung der Erde als Rückleitung ist in Fig. 378 dargestellt. W_1 und W_2 sind hier wieder die beiden Teile der geerdeten Leitung.

Die Summe der Widerstände W_1 und W_2 kann man ermitteln, indem man den einen Pol der Batterie mit w_4 und w_5 verbunden läßt und den andern an den Verbindungspunkt von W_2 und w_3 anlegt. Verändert man nun w_3, bis wieder Brückengleichgewicht stattfindet, so hat man

$$(W_1 + W_2) : w_3 = w_4 : w_5 .$$

Die Varleysche Schleifenmethode führt bei starken und kurzen Leitungen auf unbequem kleine Widerstände w_3.

Sind zwei Fehler in der Schleife, so schließen sie stets den ermittelten scheinbaren Fehlerort ein. Sind ihre Widerstände bezw. w_1 und w_2, und teilen die Fehlerorte den Widerstand der betreffenden beiden Seitenzweige der Brücke in die Teile W_0, W_1 und W_2, so teilt der scheinbare Fehlerort den Widerstand W_1 im Verhältnis:

$$[w_2 (W_0 + W_1 + W_2) + W_1 W_2] : [w_1 (W_0 + W_1 + W_2) + W_1 W_0].$$

Wenn man also z. B. bei der Murrayschen Schleifenanordnung einen und denselben Zusatzwiderstand einmal vor das eine, das andere Mal vor das andere Schleifenende legt, so daß also bei beiden Messungen $W_0 + W_1 + W_2$ denselben Wert hat, so verändert sich das obige Teilungsverhältnis stets, sofern nicht W_1 verschwindet. Das Vorhandensein von zwei Fehlern zeigt sich also dadurch an, daß der scheinbare Fehlerort von der Versuchsanordnung abhängig ist.

Die Wheatstonesche Brücke wird bei Schleifenmessungen in der auf S. 248 erörterten Weise angewendet, indem man den Galvanometerschlüssel vor dem Batterieschlüssel schließt. Eine hierbei beobachtete Ablenkung der Galvanometernadel, die auf Erdströme zurückzuführen sein wird, soll nach Batterieschluß in unveränderter Stärke fortbestehen.

Im Gegensatz zu diesen Schleifenmethoden sollen nunmehr Meßverfahren beschrieben werden, welche auch dann ausführbar sind, wenn eine intakte Rückleitung nicht vorhanden ist, eine Schleife also nicht gebildet werden kann. Diese Verfahren sind also allgemeiner und können eventuell unter Schleifenbildung noch vervollkommnet oder vereinfacht werden; die vorbeschriebenen Schleifenmethoden im engeren Sinn sind aber zuverlässiger und genauer.

Man kann zunächst den Ort z. B. eines Erdfehlers durch mehrere gleichzeitige Spannungsmessungen an der betreffenden Leitung feststellen. Verbindet man nämlich das eine Ende derselben unter Zwischenschaltung eines Galvanometers mit dem einen Pol einer Stromquelle, deren anderer Pol geerdet ist, so fließt ein gewisser Strom i durch die Leitung und den Erdfehler. Mißt man nun mit einem Voltmeter von sehr hohem Widerstande die Potentiale E′ und E″ der Leitungsenden gegen Erde, so ist zunächst, da das freie Ende das Potential des Fehlerorts hat, der Widerstand der Leitung bis zum Fehlerort:

$$W = \frac{E' - E''}{i}.$$

Selbstverständlich braucht man die Messungen nicht gleichzeitig auszuführen, wenn man nur dafür sorgt, daß der Strom i den nämlichen Wert hat. Insoweit man sich darauf verlassen will, daß dies durch Konstanthaltung der elektromotorischen Kraft erreicht werden kann, ist auch das Galvanometer entbehrlich. Man kann es dann durch einen bekannten Widerstand w ersetzen und die Stromstärke durch Anlegen des Voltmeters an die Enden von w feststellen. Bei ungleichzeitigen Messungen von E′ und E″ wirkt freilich auch die Veränderlichkeit des Fehlerwiderstandes störend.

Die Ermittelung eines Kurzschlusses kann ganz ähnlich erfolgen. Mißt man zwischen den beiden Leitungen am einen Ende die Potentialdifferenz E′, am andern E″, so ist die Summe der Widerstände bis zum Fehler $W' + W'' = \frac{E' - E''}{i}$.

Bei Vorhandensein von zwei Fehlern gilt für diese Methode das folgende. Nennt man die beiden Fehlerwiderstände w_1 und w_2, die durch die Fehlerorte bestimmten Teilwiderstände der Leitung W_0, W_1 und W_2, so liefert die Messung, wenn der Strom durch W_0 geschickt wird, den Widerstand bis zum Fehlerort zu $W_0 + \frac{W_1 w_1}{W_1 + w_1 + w_2}$, wenn aber der Strom durch W_2 geschickt wird, zu $W_2 + \frac{W_1 w_2}{W_1 + w_1 + w_2}$. Da die Summe dieser Werte nur für $W_1 = 0$ mit dem Widerstand $W_0 + W_1 + W_2$ der ganzen Leitung übereinstimmt, so gibt hier bei Vorhandensein zweier Fehler die Messung verschiedene Werte für den scheinbaren Fehlerort, je nachdem die Batterie am einen oder anderen Ende der Leitung aufgestellt ist.

Wenn der Erdfehler bedeutend ist, so kann man seinen Ort auch feststellen, indem man den Widerstand zwischen jedem Ende der Leitung und Erde am besten vermittels der verallgemeinerten Wheatstoneschen Brücke bestimmt. Sind nämlich W_1 und W_2 die Widerstände der beiden Leitungsteile und ist w der Widerstand des Fehlers selbst, so mißt man am einen Ende der Leitung $W_1 + w$, am andern $W_2 + w$, erhält also als Differenz der beiden gemessenen Widerstände die Größe $\triangle = W_1 - W_2$. Ist nun der Widerstand W der ganzen Leitung bekannt — er kann, solange die Leitung fehlerfrei ist, unter Erdung des einen Endes bestimmt, auch vor der Verlegung gemessen oder aus dem Widerstand der Längeneinheit berechnet werden —, so hat man einfach

$$W_1 = \frac{W + \triangle}{2}; \qquad W_2 = \frac{W - \triangle}{2}.$$

Handelt es sich um einen Kurzschluß zwischen zwei Leitungen, deren Gesamtwiderstand bezw. W und W′ ist, so mißt man zwischen den Leitungen am einen Ende den Widerstand $W_1 + W_1' + w$, am andern $W_2 + W_2' + w$, erhält also als Differenz $\triangle = W_1 + W_1' - W_2 - W_2'$ und hieraus

$$W_1 + W_1' = \frac{W + W' + \triangle}{2}; \qquad W_2 + W_2' = \frac{W + W' - \triangle}{2}.$$

Die Bedingung, daß w klein sei, ist deswegen zu stellen, weil sonst verhältnismäßig unbedeutende Ungenauigkeiten der Messungen auf einen wesentlich falschen Wert für $\triangle$ führen können.

Blavier hat eine Methode angegeben, bei welcher man eines Meßinstrumentes nur an einem Ende der Leitung bedarf. Mißt man nämlich den Widerstand zwischen diesem Ende der Leitung und Erde einmal wie oben, das zweite Mal aber unter Erdung des andern Leitungsendes, so ist das Resultat r_1 der ersten Messung wieder $W_1 + w$, während im zweiten Fall ein Nebenschluß vom Widerstand W_2 zum Fehler vorhanden ist, der gemessene Widerstand sich also durch

$$r_2 = W_1 + \frac{wW_2}{w + W_2}$$

ausdrückt. Elimination von w liefert

$$r_1 r_2 - (r_1 - r_2) W_2 - (r_1 + r_2) W_1 + W_1^2 = 0.$$

Ist nun wieder der Widerstand W der ganzen Leitung bekannt, so geht die vorstehende Gleichung mit $W_2 = W - W_1$ über in

$$r_1 r_2 - (r_1 - r_2) W - 2 r_2 W_1 + W_1^2 = 0,$$

$$W_1 = r_2 - \sqrt{(r_1 - r_2)(W - r_2)}.$$

Ganz entsprechend kann man den Ort eines Kurzschlusses ermitteln, indem man den Widerstand zwischen zwei Leitungsenden mißt, einmal, wenn die beiden andern frei, das andre Mal, wenn sie miteinander verbunden sind. Teilt der Fehlerort den Widerstand W der einen Leitung in die Widerstände W_1 und W_2, den Widerstand W′ der anderen Leitung in die Widerstände W_1' und W_2', so ist das Ergebnis der ersten Messung $r_1 = W_1 + W_1' + w$, das der zweiten $r_2 = W_1 + W_1' + \frac{w(W_2 + W_2')}{w + W_2 + W_2'}$, und man erhält ganz ähnlich wie oben

$$W_1 + W_1' = r_2 - \sqrt{(r_1 - r_2)(W + W' - r_2)}.$$

Mit $W_1 + W_1'$ ist natürlich der Fehlerort gegeben, wenn man die Querschnitte der beiden Leitungen in ihrem ganzen Verlauf kennt.

Blaviers Methode wird sehr ungenau, wenn der Fehlerwiderstand w sehr hoch ist, weil dann r_2 nahezu gleich W bezw. gleich $W + W'$

wird. In diesem Fall legt man nach Kilgour das zweite Ende der Leitung nicht direkt an Erde, bezw. die beiden Enden nicht direkt aneinander, sondern unter Zwischenschaltung eines genügend hohen Widerstandes W''. Die Gleichungen für diese Abart des Blavierschen Verfahrens ergeben sich aus den hierfür aufgestellten, indem man statt W_2 jetzt $W_2 + W''$, also statt W auch $W + W''$ setzt. Man erhält so für Erdfehlerbestimmungen

$$W_1 = r_2 = \sqrt{(r_1 \quad r_2)\,(W \cdot W'' = r_2)}$$

und für Kurzschlußortsbestimmungen

$$W_1 + W_1' = r_2 = \sqrt{(r_1 = r_2)\,(W \cdot W' = W'' = r_2)}\,.$$

Wenn es möglich ist den Stromkreis in seiner ganzen Länge zu verfolgen und der Leitung überall wenigstens nahe zu kommen, so bieten sich noch verschiedene Anordnungen und Mittel um den Ort des Fehlers festzustellen. Die Anordnungen sind die, daß man in den Stromkreis (s. Fig. 371) einen Umschalter oder einen Unterbrecher legt oder die Batterie B durch eine Wechselstromquelle ersetzt. Als Messinstrument bedient man sich z. B. einer sogenannten Suchspule in Gestalt eines gleichseitigen Dreiecks von 1 m Seitenlänge und darüber, versieht sie mit etwa 100 Windungen und schaltet zwischen ihre Enden ein gewöhnliches Telephon. Nähert man eine Seite der Spule der zu prüfenden Leitung, so bringt der intermittierende Fehlerstrom das Telephon durch Induktion zum Tönen, solange man sich — von der Stromquelle ausgehend — diesseits des Fehlerorts befindet; das Geräusch verschwindet, wenn man den Fehler passiert. Für Freileitungen ist von Dietze (E.T.Z. 1902 Heft 38) ein zangenartiger „Anleger" angegeben worden, der ebenfalls in Verbindung mit einem Telephon benutzt wird; gröbere Fehler kann man nach Stott (E.T.Z. 1902 Heft 2) auch mit einem Kompass aufsuchen, indem man unter Anwendung genügend hoher Spannung den Fehlerstrom vermittelst eines Umschalters von Zeit zu Zeit umkehrt.

E. Isolationsmessungen und Fehlerortsbestimmungen während des Betriebs.

Die Prüfung des Isolationszustandes einer im Betrieb befindlichen Anlage wird durch die vorhandenen großen Potentialdifferenzen zwischen den einzelnen Leitungen und die Unlösbarkeit ihres Zusammenhangs erschwert. Da infolge des letzteren Umstandes das ganze Netz während der Messungen einen einzigen Leiter darstellt, so kann man

hier schon die Feststellung der auf die einzelnen Leitungen entfallenden Fehler als Fehlerortsbestimmung bezeichnen.

Verhältnismäßig einfach kann die Erdisolation einer ganzen Anlage ohne blanken Leiter festgestellt werden.

Die Anlage bestehe aus $n+1$ Leitungen und gegen eine beliebige von ihnen, die mit L bezeichnet werde, mögen die übrigen die Potentialdifferenzen e_1 bis e_n haben, während die $n+1$ ideellen Isolationswiderstände von L und den übrigen Leitungen gegen Erde bzw. die reziproken Werte α_0 und α_1 bis α_n haben mögen. Ist das Potential von L gegen Erde x, so sind die Potentiale der übrigen Leitungen gegen Erde bzw. $x+e_1$, $x+e_2$, ... $x+e_n$ und die zur Erde fließenden Fehlerströme infolgedessen nach dem Ohmschen Gesetz $x\alpha_0$, $(x+e_1)\,\alpha_1$, $(x+e_2)\,\alpha_2$ . . . . $(x+e_n)\,\alpha_n$. Die Summe dieser Fehlerströme muß für den stationären Zustand verschwinden, und die hieraus entspringende Gleichung liefert für das Potential x den Wert:

$$x = -\frac{e_1\alpha_1 + e_2\alpha_2 + \ldots + e_n\alpha_n}{\alpha_0 + \alpha_1 + \alpha_2 + \ldots + \alpha_n} = -\frac{\Sigma e\,\alpha}{\Sigma\alpha}.$$

Man kann den Zähler dieses Bruches in leicht zu übersehender Symbolik als das statische Moment der Fehler in bezug auf die Leitung L bezeichnen und im Verfolg x als den Potentialunterschied von L gegen den Fehlerschwerpunkt deuten. Ist insbesondere nur ein Fehler α_ν vorhanden, so ist $x = -\frac{e_\nu\alpha_\nu}{\alpha_\nu} = -e_\nu$ der Potentialunterschied von L gegen den fehlerhaften Leiter. Eine Potentialmessung an dem Netz liefert also, wenn nur ein Fehler vorhanden ist, seinen Ort, andernfalls den Ort des Fehlerschwerpunktes.

Man kann nun das Potential x — und hiermit natürlich gleichmäßig die Potentiale der übrigen Leitungen — verändern, indem man der Leitung L einen künstlichen Erdfehler von bekannter Größe zufügt und gelangt dabei durch Beobachtung der Potentialverschiebung zu einer Bewertung des ganzen Fehlers.

Fügt man zunächst einen künstlichen Fehler vom Widerstand $\frac{1}{\gamma}$, dann noch einen weiteren vom Widerstand $\frac{1}{\beta}$ hinzu, so ergibt sich das Potential der Leitung L im ersteren Fall zu

$$x' = -\frac{\Sigma e\,\alpha}{\gamma + \Sigma\alpha},$$

im zweiten Fall zu

$$x'' = -\frac{\Sigma e\,\alpha}{\beta + \gamma + \Sigma\alpha},$$

woraus folgt

$$x'' : x' = (\gamma + \Sigma\alpha) : (\beta + \gamma + \Sigma\alpha),$$

$$\Sigma\alpha = \frac{\beta x''}{x' - x''} - \gamma .$$

Dies ist die Theorie der sogenannten Nebenschlußmethode. Man legt dabei zwischen irgend eine Leitung und Erde zunächst ein Galvanometer vom Widerstand $\frac{1}{\gamma}$ und liest x' ab, schaltet hierauf einen Widerstand $\frac{1}{\beta}$ parallel zum Galvanometer und liest x'' ab. Der Erdfehler der Anlage berechnet sich dann aus obiger Gleichung.

Insbesondere kann man nach Frölich denjenigen Widerstand $\frac{1}{\beta}$ ausprobieren, für welchen $x'' = \frac{1}{2} x'$ ist und erhält dann, wofern γ klein genug ist um vernachlässigt werden zu können, $\Sigma\alpha = \beta$.

Raphael schlägt vor, die Widerstände $\frac{1}{\beta}$ und $\frac{1}{\gamma}$ gleich groß zu wählen; es ergibt sich alsdann

$$\Sigma\alpha = \beta \frac{2x'' - x'}{x' - x''}.$$

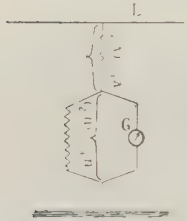


Fig. 379.

Bei diesen Messungen kann man irgend ein geeichtes Instrument, Spiegelgalvanometer, Volt- oder Amperemeter anwenden; ist der Widerstand des Instruments nicht hoch genug, so benutzt man einen Vorschaltwiderstand, der dann in $\frac{1}{\gamma}$ einzubeziehen ist. Je näher L dem Fehlerschwerpunkt liegt, desto geringer wird die Spannung an den Klemmen des Messinstrumentes, desto stärkerer künstlicher Fehler bedarf es aber auch zur Erzielung gleicher Genauigkeit bei der Messung. Liegt der Fehlerschwerpunkt in L, so wird wegen $x' = x'' = 0$ der Ausdruck für $\Sigma\alpha$ unbestimmt.

Steht kein geeichtes Instrument zur Verfügung, so kann man folgendermaßen verfahren (Fig. 379): Man schaltet parallel zu dem Galvanometer einmal einen Widerstand von solcher Größe, daß der Widerstand der Parallelschaltung u' beträgt, darauf einen andern Nebenschluß derart, daß der Widerstand u'' wird. Einem Vorschaltwiderstand gibt man gleichzeitig solche Werte v' und v'', daß der Galvanometerstrom in beiden Fällen der gleiche ist. Die in beiden Fällen gleiche Spannung an den Galvanometerklemmen werde mit e bezeichnet, die Potentiale von L gegen Erde sind dann

$$\frac{u' + v'}{u'} e \quad \text{und} \quad \frac{u'' + v''}{u''} e .$$

Es gilt also:

$$\frac{u' + v'}{u'} \cdot e = \frac{-\Sigma e\alpha}{\frac{1}{u' + v'} + \Sigma\alpha}, \qquad \frac{u'' + v''}{u''} e = \frac{-\Sigma e\alpha}{\frac{1}{u'' + v''} + \Sigma\alpha},$$

$$\frac{(u' + v')\, u''}{(u'' + v'')\, u'} = \frac{\frac{1}{u'' + v''} + \Sigma\alpha}{\frac{1}{u' + v'} + \Sigma\alpha},$$

$$\frac{(u' + v')\, u''}{u'v'' - u''v'} = \frac{\frac{1}{u'' + v''} + \Sigma\alpha}{\frac{1}{u' + v'} - \frac{1}{u'' + v''}},$$

$$\Sigma\alpha = \frac{u''\,(u'' + v'' - u' - v')}{(u'' + v'')\,(u'v'' - u''v')} - \frac{1}{u'' + v''} = \frac{u'' - u'}{u'v'' - u''v'}.$$

Ist insbesondere bei Verwendung von dekadischen Nebenschlußwiderständen $u' = 10\, u''$, so hat man

$$\Sigma\alpha = \frac{0}{v' - 10\, v''}.$$

Nicht wesentlich verschieden von diesen Verfahren ist auch die Theorie der von Frisch herrührenden sogenannten Eingalvanometermethode. Man legt hierbei das geerdete Galvanometer zuerst an die Leitung L, dann an eine andere Leitung L'. Hat L' das Potential E gegen L, so sind die Potentiale der übrigen Leitungen gegen L' bzw. $-E$, $e_1 - E$, $e_2 - E$ . . . . $e_n - E$ und das Potential der durch das Galvanometer geerdeten L' erhält den Wert

$$x'' = -\frac{\Sigma e\alpha}{\gamma + \Sigma\alpha} + E\frac{\Sigma\alpha}{\gamma + \Sigma\alpha}.$$

Hieraus ergibt sich

$$x'' - x' = \frac{E\Sigma\alpha}{\gamma + \Sigma\alpha},$$

$$\frac{1}{\Sigma\alpha} = \frac{1}{\gamma}\left(\frac{E}{x'' - x'} - 1\right).$$

Aus der Endformel ist ersichtlich, daß der künstliche Fehler γ nicht zu klein sein darf, weil sonst die in der Klammer stehende Differenz klein wird, wobei offenbar geringe Beobachtungsfehler das Resultat entstellen könnten. Arbeitet man also mit einem Voltmeter von hohem Eigenwiderstand, so muß man dasselbe erst mit einem geeigneten Nebenschluß versehen und hat dann für $\frac{1}{\gamma}$ den Widerstand der Parallelschaltung einzuführen.

Legt man zwischen L_1 und Erde ein Galvanometer, zwischen L′ und Erde einen regulierbaren Widerstand, so kann man diesem, wofern nur die Spannung e′ von L′ gegen L_1 denselben Sinn hat, wie die von L_1 gegen Erde vor Erdung von L′, einen solchen Wert $\frac{1}{\alpha'}$ geben, daß das Galvanometer stromlos wird. Dann gilt die Gleichung

$$0 = e'\alpha' + \Sigma e\alpha,$$

in welcher die e die Spannungen der einzelnen Leitungen gegen L_1 bedeuten und der Galvanometerwiderstand natürlich nicht auftritt. Wiederholt man den Versuch, indem man L_2 statt L_1 und L″ statt L′ nimmt, und hat L_2 gegen L_1 die Spannung E, L″ gegen L_2 die Spannung e″, so gilt für den jetzt gefundenen Widerstand $\frac{1}{\alpha''}$

$$0 = e''\alpha'' + \Sigma (e - E)\alpha,$$

also auch

$$0 = e'\alpha' - e''\alpha'' + E\Sigma\alpha.$$

Es ist hierbei nicht zu vergessen, daß e′ gegen L_1, e″ gegen L_2 gemessen ist.

Das durch eine so einfache Endformel ausgezeichnete Verfahren zur Bestimmung von $\Sigma\alpha$ ist, wie man leicht nachprüfen kann, auf Anlagen mit weniger als 4 Leitern nicht unmittelbar anwendbar. Die Beschränkung wird von Bruger (E.T.Z. 1902 Heft 41) mit Hilfe einer Zusatzbatterie von der Spannung E' überwunden, die er mit der Anlage hintereinander schaltet, und zwar einmal an die eine, dann an die andere Außenleitung. Er schafft so gewissermaßen jedesmal noch eine weitere Außenschiene in dem freien Pol der Zusatzbatterie, den er durch einen Widerstand von solcher Größe an Erde legt, daß die benachbarte bisherige Außenleitung auf Erdpotential kommt. Dabei werden offenbar in der obigen Gleichung e′ und e″ mit entgegengesetztem Vorzeichen gleich und zwar dem Absolutwert nach gleich E', während E die Spannung zwischen den Außenleitern der Anlage ist, und man hat

$$\Sigma\alpha = \frac{E'}{E}(\alpha' + \alpha'').$$

Für Zweileiteranlagen sind übrigens die auf die beiden Leitungen entfallenden Fehler α_1 und α_2 jeder für sich unmittelbar in der Form gegeben

$$\alpha_1 = \frac{e'}{e}\alpha' \quad \text{bezw.} \quad \alpha_2 = \frac{e'}{e}\alpha''.$$

Vermittels der vorbeschriebenen Verfahren der künstlichen Fehler kann man nur Größe und Schwerpunkt des Gesamtfehlers feststellen. Eine Möglichkeit, die ideellen Isolationen der einzelnen Lei-

tungen gegen Erde zu bestimmen, bietet sich, insoweit es während des Betriebes zulässig ist, die Einzelspannungen zu verändern (vgl. E.T.Z. 1896 Heft 43). Verschiebt man z. B. das Potential der Leitung mit dem Fehler α_μ um $\triangle e_\mu$, indem man ihre Spannung gegen die beiden Nachbarleitungen entsprechend verändert, so wird aus dem Potential

$$x' = -\frac{\Sigma e \alpha}{\gamma + \Sigma \alpha}$$

das Potential

$$x'' = -\frac{\Sigma e \alpha + \triangle e_\mu \alpha_\mu}{\gamma + \Sigma \alpha};$$

und man hat:

$$x' - x'' = \frac{\triangle e_\mu \alpha_\mu}{\gamma + \Sigma \alpha};$$

$$\alpha_\mu = \frac{(\gamma + \Sigma \alpha)(x' - x'')}{\triangle e_\mu};$$

sodaß α_μ berechnet werden kann, wenn $\Sigma \alpha$ vorher auf andere Weise bestimmt worden ist.

Die vorstehend aufgeführten Methoden sind allenfalls auch für Wechselstrom anwendbar, wenn man das Galvanometer durch ein Elektrodynamometer von passender Empfindlichkeit ersetzt. Indessen wird das Resultat durch den auch bei vollkommener Isolation auftretenden, der Kapazität des Netzes proportionalen Ladestrom so beeinflußt, daß solche Messungen nur bei kleineren Anlagen in Betracht kommen können. Legt man keinen Wert darauf, die Isolationsmessung mit Wechselstrom auszuführen, so kann man mit übergelagertem Gleichstrom arbeiten, der einer kleinen Batterie entnommen wird, die Methode des direkten Ausschlags anwenden und mit Gleichstrominstrumenten messen, die durch Wechselstrom nicht beeinflußt werden.

Wenn bei Hochspannungsanlagen elektrostatische Voltmeter, z. B. Goldblattelektroskope zur Anwendung kommen, so ändert dies an den aufgestellten Formeln nichts, außer daß der Galvanometerwiderstand mit ∞ oder $\gamma = 0$ einzuführen ist. Die Methode von Frisch wäre insoweit zu modifizieren, daß das Voltmeter dauernd mit einem Nebenschluß von geeignetem Widerstand $\frac{1}{\gamma}$ zu verwenden wäre. Anstatt dessen verfährt man auch so, daß man elektrostatisches Voltmeter und Widerstand $\frac{1}{\gamma}$ an je eine der Leitungen L und L' legt und eine zweite Messung unter Vertauschung von Voltmeter und Nebenschlußwiderstand ausführt. Hierbei fällt gegenüber der oben beschriebenen Messung nach Frisch

die eine Ablesung y' um E höher, die andere y'' aber um E niedriger aus, so daß die früher entwickelte Gleichung mit $x' = y' - E$ und $x'' = y'' + E$ übergeht in

$$\frac{1}{\Sigma\alpha} = \frac{1}{\gamma}\,\frac{(y' - y'') - E}{2E - (y' - y'')}.$$

Hat man wegen der hohen Spannung Bedenken gegen die Anbringung eines künstlichen Fehlers γ, so kann man das elektrostatische Voltmeter nur zu einer einzigen Bestimmung des Netzpotentials benützen und erhält so zwar den Fehlerschwerpunkt, aber keinen Anhalt für die Größe des Fehlers.

Umgekehrt kann man nun auch zur Prüfung von Gleichstromanlagen Wechselstrom benutzen und hierbei z. B. die auf S. 254 beschriebenen Hilfsmittel verwenden. Es bedarf hierbei gar keiner besonderen Stromquelle, sondern die intermittierende Erdung des einen Pols der Dynamo genügt zur Entstehung des oszillierenden Fehlerstromes.

Die Isolation des ganzen Netzes gegen Erde kann man ferner mit Hilfe der verallgemeinerten Wheatstoneschen Brücke nach Fig. 374 feststellen, indem an Punkt B der Brücke das ganze im Betrieb befindliche Netz geschlossen wird. Eine Batterie E ist hierbei gar nicht nötig, sondern die Widerstände der Seitenzweige werden so eingestellt, daß bei Schluß des andern Diagonalzweiges der Strom im Galvanometer unverändert bleibt. Im Gegenteil ist dieser Strom im allgemeinen so groß, daß man einen Richtmagneten braucht, um die Nadel zum Spielen zu bringen. Um dies zu vermeiden, schaltet man nach Frölichs Vorschlag das Galvanometer nicht direkt in den betreffenden Diagonalzweig, sondern verbindet es mit der sekundären Spule einer Induktionsrolle, deren primäre Spule in dem Diagonalzweig liegt. Alsdann steht die Nadel auf Null, solange keine Stromschwankungen im Netz eintreten; bei Brückengleichgewicht aber wird sie auch durch Öffnen und Schließen des zweiten Diagonalzweiges nicht in Bewegung gesetzt. Man kann offenbar bei dieser Anordnung das Galvanometer durch ein Telephon ersetzen, besonders wenn man den zweiten Diagonalzweig in regelmäßiger schneller Folge öffnet und schließt und so im Telephon einen charakteristischen Ton hervorbringt.

Umgekehrt kann man auch bei Wechselstrombetrieb die Wheatstonesche Brücke mit Gleichstrombatterie E zur Isolationsmessung benutzen.

Fehlerbestimmungen während des Betriebs können vermittels der im vorigen Abschnitt beschriebenen Schleifenmethoden ausgeführt wer-

den. Sofern die Fehler im Verteilungsnetz liegen, bildet man die Schleife am besten unter Zuhilfenahme je zweier Prüfdrähte; es lassen sich hier sogar mehrere gleichzeitige Fehler bestimmen, da die Verteilungsleitung durch die im allgemeinen nach allen Speisepunkten laufenden Prüfdrähte in verschiedenster Weise in die Schleife einbezogen werden kann. Die betreffenden Verfahren sind von Hieke und Frölich ausgebildet (vgl. E.T.Z. 1892 und 93). Eine großartige Anwendung hat das Agthe-Kallmannsche automatische Fehlermeldeverfahren (vgl. E.T.Z. 1893) in den Berliner Elektrizitätswerken gefunden. Bei diesem System stehen die mit den Kabellitzen direkt verseilten Prüfdrähte mit Kabeln anderer Spannung in Kontakt, so daß eine Beschädigung des Kabels, insofern sie den mitverseilten Prüfdraht in Mitleidenschaft zieht, einen Strom im letzteren verursacht, den geeignete Apparate in der Zentrale anzeigen. Die Benutzung der Prüfdrähte zur Spannungsmessung wird durch ihre Verwendung zur Fehlermeldung nicht beeinträchtigt.

Eine ganz neue Methode der Fehlermessung und Bestimmung im Betriebe hat Kallmann einige Jahre später (E.T.Z. 1898) angegeben. Indem hierbei nach Fig. 380 zwei Leitungsteile von gleichem Widerstand nach Art einer Thomsonschen Doppelbrücke verbunden werden, kann man direkt die Differenz der die beiden Leitungsteile durchfließenden Ströme am Galvanometer ablesen.

Ob hierbei die Fehlerortsbestimmung bis zur Ermittelung sämtlicher ideellen Isolationswiderstände oder gar noch weiter durchgeführt werden kann, hängt lediglich von der Anzahl der angebrachten Vorrichtungen ab.

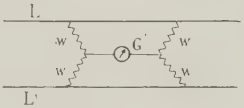


Fig. 380.

Schließlich mag noch erwähnt werden, daß die dem letzten Verfahren eigentümliche automatische Fehlermessung zuerst von Frölich angestrebt wurde (vgl. E.T.Z. 1895), welcher unter eigenartiger Verwendung der Wheatstoneschen Brücke ein Instrument konstruiert hat, an welchem man die Isolationswiderstände unmittelbar ablesen kann.

IX. Die im Deutschen Reiche erlassenen Rechtsbestimmungen über Elektrizität.

Von A. Gobanz.

Bei Betrachtung der auf die Elektrizität bezüglichen Rechtsnormen fällt zunächst eine Erscheinung auf, welche mit der geschichtlichen Entwicklung der beiden Hauptzweige der Elektrotechnik zusammenhängt. Während die Schwachstromtechnik in ihren Anwendungsformen als Telegraphie und Telephonie, wohl im Anschluß an das Postregal, von den Bundesstaaten, bezw. dem Reiche, teils durch deklaratorische Feststellung, teils stillschweigend als staatliches Monopol erklärt worden ist und demgemäß einer in sich abgeschlossenen Gesetzgebung sich erfreut, hat die Starkstromtechnik, ziemlich unbeeinflußt von der Gesetzgebung, ihre großartige Entwicklung genommen und sich ihre Rechtsnormen gewissermaßen selbst geschaffen: die Behörden haben sich mehr oder weniger darauf beschränkt, den aus den Kreisen der Starkstromtechnik selbst geschaffenen Vorschriften im großen und ganzen ihre Zustimmung zu erteilen.

Das Deutsche Reich hat — keineswegs zum Nachteil dieses Industriezweiges — darauf verzichtet, die Ausführung elektrischer Starkstromanlagen im Wege der Gesetzgebung zu regeln, wie es anderwärts (England, Frankreich, Italien) schon vor längerer Zeit für notwendig erachtet worden war. Als Grund dieses vorläufigen Verzichtes auf ein „Reichselektrizitätsgesetz" hat der Staatssekretär des Reichspostamtes, von Podbielski, in der Reichstagsverhandlung vom 15. April 1899, als der Entwurf des Telegraphenwegegesetzes zur Beratung stand, u. a. angeführt: „Die verbündeten Regierungen haben bereits vor mehreren Jahren in Erwägung gezogen, ob es wünschenswert sei, ein Elektrizitätsgesetz zu erlassen. Man hat aber dagegen geltend gemacht, daß jedes

Gesetz unter den jetzigen Verhältnissen noch sehr störend auf die noch junge Industrie einwirken könnte, weil man nicht alle Verhältnisse zu übersehen vermag und nach allen Beobachtungen eigentlich jeder Tag neue Phasen der Entwicklung bringt, so daß man nicht einem abgeschlossenen Ganzen gegenübersteht, sondern einer variablen Größe. Aus diesem Grunde hat man es bis jetzt noch unterlassen, ein auf diese Materie bezügliches Gesetz einzubringen." *)

Wenn sich auch nicht leugnen läßt, daß die Elektrotechnik überhaupt und die Starkstromtechnik im besonderen bei der lebhaft fortschreitenden Entwicklung, in welcher ihre technische Ausgestaltung noch immer begriffen ist, für die gesetzliche Festlegung der sie betreffenden Rechtsverhältnisse erhebliche Schwierigkeit bietet, so liefern doch einerseits das Gesetz über das Telegraphenwesen des Deutschen Reiches nebst den dasselbe ergänzenden Bestimmungen, andererseits die verschiedenen Sicherheitsvorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker den Beweis, daß vortreffliche gesetzliche Normen und aus eigener Initiative der Industrie geschaffene Vorschriften auch für noch im Fluß befindliche Disziplinen möglich sind. Zwar sind wir noch nicht so weit, „um ein Elektrizitätsgesetz mit absoluter Sicherheit machen zu können" (Dr. Siemens), die vorhandenen Bestimmungen sind jedoch einstweilen vollkommen ausreichend, namentlich nachdem durch das Gesetz, betreffend die Bestrafung der Entziehung elektrischer Arbeit vom 9. April 1900 eine Lücke des Strafgesetzes, welche seitens verschiedener Gerichte zu Meinungsverschiedenheiten geführt hatte, ausgefüllt worden war. Durch das letztgenannte Gesetz ist die bis dahin noch offene Frage, ob die Elektrizität als „bewegliche Sache" im juristischen Sinne aufzufassen sei, erledigt worden. Das, was man im Rechts-

*) Mittlerweile sind, offenbar als Lückenbüßer für das noch zu erwartende „Reichselektrizitätsgesetz", einerseits dem Preußischen Abgeordnetenhaus von der Regierung der „Entwurf eines Gesetzes, betreffend die Kosten der Prüfung und Überwachung von elektrischen Anlagen, Dampffässern, Aufzügen und anderen gefährlichen (sic!) Einrichtungen" unterbreitet, andererseits vom Königl. Bayr. Ministerium des Innern ein vorläufiger Entwurf einer Verordnung über die Starkstromanlagen ausgearbeitet worden, der für Anlagen mit mehr als 500 Volt Spannung die Konzessionspflicht, für alle Starkstromanlagen die Abnahme und periodische Revision durch behördliche Organe in Aussicht genommen.

Der Entwurf der Preußischen Regierung, der wegen seiner eigenartigen Begründung in den beteiligten Kreisen lebhafte Bedenken wachgerufen hat, ist im Preußischen Abgeordnetenhaus nach kurzer Debatte einer Kommission überwiesen worden, während der Entwurf des Bayr. Ministeriums vor Einbringung an den Landtag den interessierten Kreisen zur Begutachtung vorgelegt worden ist.

leben unter Elektrizität versteht, und was als Gegenstand des Handels und Verkehrs allein in Betracht kommt, ist elektrische Energie; diese ist ein Verkehrsgut, ein Rechtsobjekt und, wenn auch keine körperliche Sache, so doch eine Sache im Rechtssinn, und die für die rechtliche Behandlung der Sachgüter geltenden Normen finden auf die Elektrizität insofern analoge Anwendung, als die Natur des Gegenstandes dies verlangt und zuläßt.

Bei Besprechung der auf die praktische Anwendung der Elektrizität Bezug habenden gesetzlichen Bestimmungen, Rechtssätze und Entscheidungen, sollen im nachfolgenden die unter den Begriff der Schwachstromtechnik subsummierten Zweige **„Telegraphie und Telephonie"**, welche als Regale zeitlich vorausgehend, Gegenstand einer erschöpfenden Gesetzgebung wurden, vorerst abgehandelt werden.

Durch reichsgerichtliches Urteil vom 28. Februar 1889 ist die Frage, ob die Fernsprechanstalten technisch und begrifflich eine Unterart der Telegraphenanstalten bilden oder eine davon unabhängige Gattung der Nachrichtenvermittlung, im ersteren Sinne entschieden worden. Da hiernach die öffentlichen Zwecken dienenden Fernsprechleitungen als ein mit der Telegraphie nicht nur tatsächlich aufs engste verwandter und technisch verknüpfter, sondern in rechtlichem Sinne damit identischer Zweig der heutigen öffentlichen Verkehrsanstalten zu betrachten sind, treffen die für das Telegraphenwesen erlassenen gesetzlichen Bestimmungen im großen und ganzen auch für das Telephonwesen zu.

Während in Preußen und im Norddeutschen Bunde die Verhältnisse der Telegraphie ausschließlich im Wege administrativer Anordnungen geregelt waren, hat das Reich mit dem Gesetz über das Telegraphenwesen des Deutschen Reiches vom 6. April 1892 den Anfang einer umfassenden gesetzlichen Regelung der Rechtsverhältnisse der Telegraphie mit Einschluß der Telephonie gemacht.

Von geschichtlichem Interesse ist die Tatsache, daß das Königreich Sachsen der erste deutsche Staat gewesen ist, der durch Gesetz vom 21. September 1855, die Anlegung und Benutzung elektromagnetischer Telegraphen betreffend, die Monopolisierung des Telegraphen für den Staat gesetzlich festgelegt hat. Allerdings sind die dort enthaltenen Bestimmungen durch das inzwischen erlassene Reichstelegraphengesetz gegenstandslos geworden, insoweit nicht die durch § 4 des Reichsgesetzes vorgesehene Kontrolle der Landeszentralbehörde auf Grund des sächsischen Gesetzes in Frage kommt.

Durch das Reichstelegraphengesetz wird zunächst das Reichsmonopol des Telegraphen ausdrücklich festgelegt; das Gesetz begrenzt ferner das Regal durch Anführung der Ausnahmen, in denen Telegraphenanlagen für die Vermittlung von Nachrichten ohne besondere Genehmigung des Reiches errichtet und betrieben werden dürfen, räumt jedoch der Landeszentralbehörde vorbehaltlich der Reichsaufsicht die Kontrolle hierüber ein, bedroht Zuwiderhandlungen mit Strafen und regelt die Verhältnisse bei Störung der einen elektrischen Leitung durch eine andere.

Die in § 6 des Reichstelegraphengesetzes enthaltene Bestimmung, derzufolge im Ortsverkehr jeder Eigentümer eines Grundstückes gegen Erfüllung gewisser Bedingungen den Anschluß an das Lokalnetz verlangen kann, ist durch die vom Reichspostamt unterm 28. Juni 1892 erfolgte Bekanntmachung der Bedingungen ergänzt worden, unter welchen die Reichspost- und -telegraphenverwaltung den Anschluß an die Stadtfernsprecheinrichtungen zur Ausführung bringt.

Aus diesen Bedingungen interessiert lediglich die Bestimmung, derzufolge die Einholung der Genehmigung des Hauseigentümers zur Einführung der Leitung in das anzuschließende Haus, sowie zur Anbringung der Vorrichtungen, welche zum Ausbau des Fernsprechnetzes erforderlich sind, z. B. Gestänge, Stützen, Isolatoren usw., Sache des Teilnehmers ist.

Aus der Bekanntmachung des Reichskanzlers vom 21. Januar 1900 über Fernsprechnebenanschlüsse ist die Bestimmung hervorzuheben, daß die nicht von der Reichstelegraphenverwaltung hergestellten Anschlüsse den von dieser Behörde festzusetzenden technischen Anforderungen entsprechen müssen, und daß das Post-, Telegraphen- oder Fernsprechamt, welchem die betreffende Vermittlungsanstalt unterstellt ist, befugt ist, jederzeit zu prüfen, ob die Nebenanschlüsse den technischen Anforderungen genügen.

Während zum Ausbau des Telegraphennetzes die in den einzelnen Bundesstaaten bereits bestehenden Straßengesetze und Wegeordnungen, welche die Rechte der Telegraphenverwaltungen an fremdem Grund und Boden regeln, ausreichend waren, stellte sich bei der großartigen Entwicklung des Fernsprechwesens in den großen und mittleren Städten, wozu noch die Verbindungslinien zwischen den verschiedenen Fernsprechnetzen traten, die Notwendigkeit ein, die Wege und fremden Grund und Boden zur Linienführung in erhöhtem Maße zu benützen. Es galt, die vielfach bestandene Rechtsunsicherheit auf diesem Gebiete zu beseitigen, einerseits der Reichstelegraphenverwaltung zu ermög-

lichen, den Ausbau der Fernsprechanlagen den gesteigerten Bedürfnissen des Verkehrs entsprechend vorzunehmen, andrerseits die berechtigten Sonderinteressen gegenüber den Ansprüchen der Reichstelegraphenverwaltung zu schützen; diesem Bestreben verdankt das Telegraphenwegegesetz vom 18. Dezember 1899 seine Entstehung.

Das Gesetz, zu dem unterm 26. Januar 1900 Ausführungsbestimmungen des Reichskanzlers bekannt gemacht worden sind, enthält zunächst eine Regelung der Rechte der Telegraphenverwaltung zur Benutzung von Verkehrswegen, unter denen die öffentlichen Wege, Plätze, Brücken, Gewässer nebst deren, dem öffentlichen Gebrauch dienenden Ufern zu verstehen sind; ferner die Verpflichtungen der Telegraphenverwaltung gegenüber den Wegeunterhaltungspflichtigen, das Verhältnis zu den Baumpflanzungen, zu den auf den Verkehrswegen bereits bestehenden oder noch zu errichtenden Anlagen, das bei Inanspruchnahme eines Verkehrsweges seitens der Telegraphenverwaltung einzuhaltende Verfahren, endlich die Rechte der letzteren auf die Benutzung von Privatgrundstücken.

Die Hauptgesichtspunkte des Gesetzes sind, einerseits die Zweckbestimmung der öffentlichen Wege auf die Benutzung für die telegraphische Nachrichtenvermittlung auszudehnen, andrerseits ohne Anwendung eines Zwangsrechtes der Telegraphenverwaltung die Befugnis zur Benutzung von Privatgrundstücken im Interesse der Erweiterung des Telegraphennetzes, insbesondere des Fernsprechnetzes, in Städten insoweit einzuräumen, als der Eigentümer dadurch nicht in der freien Benutzung seines Grundstückes beschränkt wird.

Während die vom Reichspostamt zur amtlichen Ausgabe des Telegraphenwegegesetzes gegebenen Erläuterungen, sowie die von derselben Behörde für die Oberpostdirektionen angeschlossenen Bemerkungen für unsere Zwecke ohne Belang sind, beansprucht das vom Staatssekretär des Reichspostamtes unterm 16. Februar 1900 an die Sächsische Staatsregierung gerichtete Schreiben, betreffend die Grundzüge für die Durchführung der Bestimmungen in § 11 des Telegraphenwegegesetzes, erhöhtes Interesse. § 11 des Telegraphenwegegesetzes betrifft die der Reichstelegraphenverwaltung zukommende Befugnis, die Straßenbau- und Polizeibeamten mit der Beaufsichtigung und vorläufigen Wiederherstellung der Telegraphenleitungen nach näherer Anweisung der Landeszentralbehörden zu beauftragen, sowie die Bestimmung, daß diesen Beamten hierfür eine besondere Vergütung zu zahlen ist. Die Beauftragung der Straßenbaubeamten erfolgt durch ihre vorgesetzten Behörden unter Aushändigung einer von der Telegraphen-

verwaltung erlassenen „Anweisung für die Straßenbaubeamten zur Bewachung und vorläufigen Wiederherstellung der oberirdischen Telegraphenlinien", aus welcher einige Punkte wegen des unsere Materie betreffenden Inhaltes hervorgehoben seien: „Nachdem die Verpflichtung der Beamten zur Revision der Telegraphenlinien, insbesondere während der Obsternte festgelegt wird, werden die vorkommenden Betriebsstörungen sowie die zu ihrer Beseitigung in Betracht kommenden Mittel erörtert. Die u. a. an den Isolatoren auftretenden Anhäufungen von Spinngeweben usw. sind durch Säubern zu entfernen, zerstörte Isolatoren durch Vorratsisolatoren, von denen der revidierende Straßenbaubeamte eine entsprechende Anzahl mitzuführen hat, zu ersetzen; von den Isolatoren abgefallene Drähte sind wieder aufzulegen und zu befestigen, und ähnliche bei Revision von Leitungen zu beobachtende, allgemein bekannte Montagevorschriften."

Durch kein Reichsgesetz, wohl aber durch eine Reihe von Erlassen der zuständigen Ministerien der einzelnen Bundesstaaten ist die wichtige Frage des Schutzes der Reichs- und Staatstelegraphen- und Telephonleitungen gegen Betriebsstörungen durch andere elektrische Leitungen geregelt. Die Vorschriften treffen hauptsächlich die für Beleuchtung, Kraftübertragung und den Bahnbetrieb errichteten Starkstromanlagen bezw. die zugehörigen ober- und unterirdischen Zuleitungen. Diese vielfach noch aus älterer Zeit stammenden Bestimmungen wurden jedoch inzwischen durch den Erlaß des Telegraphenwegegesetzes in mancher Beziehung modifiziert, da dieses Gesetz den mittlerweile stark veränderten Verhältnissen mehr Rechnung trägt.

Preußen nahm auf Grund des Kleinbahngesetzes vom 28. Juli 1892, sowie der zugehörigen Ausführungsvorschriften Veranlassung, allgemeine Vorschriften zum Schutze der Reichstelegraphen- und Fernsprechanlagen zu erlassen, welche beim Bau und Betrieb elektrischer, mit Gleichstrom betriebener Straßen- und Kleinbahnen zu beachten sind. An Stelle des vom Preußischen Minister für öffentliche Arbeiten unterm 31. Dezember 1896 ausgegangenen einschlägigen Erlasses, der sich zum grossen Teil auf die bei Kreuzung von Telegraphen- und Fernsprechleitungen mit oberirdischen Arbeitsleitungen von den elektrischen Bahnen zu treffenden Schutzmaßregeln (Drahtnetze, Schutzleisten) bezog, ist nunmehr der Ministerialerlaß vom 9. Februar 1904 getreten. Durch den letzteren sind die Anforderungen festgelegt, denen eine Bahnanlage im Hinblick auf konkurrierende Telegraphen- und Fernsprechanlagen der Polizeibehörde gegenüber zu genügen hat;

die polizeilichen Anforderungen sind hierbei auf die Fernhaltung solcher schädlicher Einwirkungen der Anlage und des Betriebes der Bahn beschränkt, als hierdurch der Bestand der Telegraphen- und Fernsprechanlagen und die Sicherheit des Bedienungspersonales gefährdet würde. Im übrigen ist die Ausführung der Bahnanlage, soweit die Fernhaltung „störender Einflüsse" in Frage kommt, der Verständigung zwischen dem Unternehmer und der Telegraphenverwaltung überlassen und im Falle der Nichtverständigung Sache richterlicher Entscheidung.

Auch in Bayern bestehen Vorschriften zum Schutze der Telegraphen- und Telephonleitungen, welche durch eine Entschließung des Staatsministeriums des Innern vom 30. April 1898 erlassen worden sind; in Betracht kommt noch ein Erlaß des Staatsministeriums des Innern vom 5. Dezember 1896, der eine Reihe von Bedingungen enthält, unter denen die Ausführung und der Betrieb von Starkstromanlagen seitens der zuständigen Post- und Telegraphenbehörden gestattet wird.

In Sachsen sind erstmals durch die Ministerialverordnung vom 12. Oktober 1883, die Sicherung der telegraphischen und telephonischen Leitungen gegen Betriebsstörungen durch andere elektrische Leitungen betreffend, Vorschriften über die polizeiliche Genehmigung von elektrischen Beleuchtungs- und Kraftanlagen erlassen worden. Diese Verordnung hat zu manchen Kontroversen und Äußerungen sowohl der Behörden als auch der beteiligten Kreise geführt. Von Wichtigkeit sind noch diejenigen Schutzmaßregeln, welche auf Grund von § 12 des Reichstelegraphengesetzes von der Reichspost- und -telegraphenverwaltung bei Herstellung und Inbetriebnahme von Elektrizitätswerken in Sachsen im allgemeinen vorgeschrieben worden sind.

In Württemberg hat das Ministerium des Innern mittels Erlasses vom 8. Februar 1896 bestimmt, welche Vorkehrungen zum Schutze der staatlichen Telegraphen- und Telephonleitungen bei der Errichtung von Elektrizitätswerken (Kraftstationen) und bei der Anlage von elektrischen Straßenbahnen zu treffen sind.

Nebst einigen für beide Kategorien gültigen allgemeinen Bestimmungen enthält der genannte Erlaß eine Reihe von eingehenden Vorschriften, aus denen für die in diesem Buche behandelte Materie die folgende in Frage kommt.

Bei Errichtung von Elektrizitätswerken unter Absatz 4:

„Bei Überkreuzungen, welche, wenn tunlich, zu vermeiden sind, müssen die Starkstromdrähte durch unverbrennbares Material (Por-

zellan, Schiefer usw.) von den Schwachstromdrähten getrennt gehalten werden."

Mit Ausnahme einer in Sachsen-Weimar erlassenen Ministerialverordnung vom 8. Januar 1896, welche ziemlich allgemein gehaltene Bestimmungen über die Anlegung elektrischer Leitungen umfaßt (Schutz der Reichstelegraphen und Fernsprechleitungen, Konzessionspflicht der elektrischen Bahnen, polizeiliche Genehmigung der anderen Leitungen), ermangeln die übrigen Bundesstaaten landesgesetzlicher oder auch auf dem Verordnungswege erlassener Vorschriften zum Schutze von Telegraphen- und Telephonleitungen. Soweit die Reichsgesetzgebung durch das Reichsstelegraphen- und das Telegraphenwegegesetz zur Regelung der einschlägigen Verhältnisse nicht ausreicht, dürften von den zuständigen Reichs- oder Landesbehörden von Fall zu Fall jene Maßnahmen vorgeschrieben werden, welche bei Ausführung einer elektrischen Starkstromanlage im Interesse der Öffentlichkeit zu beobachten sind.

Es ist bereits eingangs darauf hingewiesen worden, daß im Gegensatz zu der sorgfältigen und erschöpfenden gesetzgeberischen Behandlung, welche den beiden Hauptanwendungsformen der Schwachstromtechnik, der Telegraphie und Telephonie, infolge ihrer Stellung als Staatsmonopole zuteil geworden ist, **die Starkstromtechnik** ein ihre Entwicklung hemmendes Eingreifen der Gesetzgebung bislang erfreulicherweise nicht erfahren hat. Die Starkstromtechnik hat, von der Beleuchtung ausgehend, ihren Einfluß allmählich auf die verschiedensten Industrie- und Verkehrszweige auszudehnen vermocht und ihr Anwendungsgebiet erweitert sich noch von Tag zu Tag; welche Entwicklung die von gesetzgeberischen Schranken fast gänzlich unbeeinflußte Disziplin in Amerika genommen hat, ist allgemein bekannt. Trotzdem möchte es scheinen, daß mit Rücksicht auf die der Starkstromtechnik anhaftenden Gefahren, die bei sorgfältiger Beachtung aller durch die Erfahrung und Beobachtung gegebenen Regeln zwar auf ein Mindestmaß eingeschränkt, aber niemals ganz ausgeschlossen werden können, die völlige Freigabe der Erzeugung und Benutzung elektrischer Energieform nicht ohne weiteres angängig ist.

„Wenn erwogen wird, mit welch großen Gefahren die elektrischen Starkstromanlagen besonders auch in ihrem Zusammenwirken mit den Schwachstromleitungen verbunden sind, so kann man gewiß die Forderung nicht abweisen, daß eine ernsthafte Kontrolle über diese Einrichtungen stattfinde." (Meili.)

Die unvereinbaren Gegensätze, einerseits gesetzliche Bevormundung eines jungen aufstrebenden Industriezweiges, andrerseits uneingeschränkte Möglichkeit der Ausnutzung der Starkströme, sind in Deutschland dadurch beseitigt worden, daß die im Interesse der Sicherheit nicht zu entbehrenden Vorschriften „von den berufenen Vertretern der Elektrotechnik ganz Deutschlands vereinbart und dadurch mit dem Anrecht auf allgemeine Gültigkeit ausgestattet worden sind". Selbstgeschaffenen Normen sich fügend, hat sich die elektrotechnische Industrie unbeeinflußt von jeder Einwirkung oder Aufsicht des Staates frei entwickeln können. Daß der eingeschlagene Weg der richtige war, beweist der derzeitige hohe Stand der deutschen Elektrotechnik; die Gediegenheit ihrer Fabrikate und die Gründlichkeit in der Behandlung der Aufgaben ist u. a. mit auf den fördernden Einfluß der Verbandsvorschriften zurückzuführen.

Eine Besprechung des Inhalts der verschiedenen vom Verband Deutscher Elektrotechniker herausgegebenen Sicherheitsvorschriften erübrigt sich an dieser Stelle mit Rücksicht darauf, daß der den vorliegenden Stoff behandelnde Inhalt der Vorschriften in den vorangehenden Abschnitten behandelt ist. Hier sei lediglich betont, daß die Sicherheitsvorschriften für elektrische Anlagen, welche ursprünglich nur als ein Mittel zur Förderung gemeinnütziger Interessen aus den Kreisen und Bedürfnissen der elektrotechnischen Industrie selbst hervorgegangen waren, inzwischen von den meisten Regierungen der deutschen Bundesstaaten als brauchbare Grundlage anerkannt und den zuständigen Behörden als technische Richtschnur mitgeteilt worden sind.

In diesem Sinne hat das preußische Ministerium für Handel und Gewerbe in einer allgemeinen Verfügung vom 28. Oktober 1898 zu den Sicherheitsvorschriften Stellung genommen, ferner das Sächsische Ministerium des Innern in einer Verordnung vom 19. November 1896 die zuständigen sächsischen Behörden davon in Kenntnis gesetzt, daß Anlagen, welche den vorgedachten Sicherheitsvorschriften nicht entsprechen, nicht als feuersicher gelten können, daß das unter gewöhnlichen Verhältnissen sich ergebende Sicherheitsmaß als ausreichend zu erachten ist und dasselbe lediglich da, wo besondere Umstände es erheischen, durch sinngemäße Ergänzung oder Verschärfung der Sicherheitsvorschriften zu erhöhen ist.

Im gleichen Sinne sind ferner folgende Regierungen vorgegangen:

Großherzogtum Sachsen, Staatsministerium,

Großherzogtum Mecklenburg-Schwerin, Ministerium des Innern,

Großherzogtum Mecklenburg-Strelitz, Landesregierung,
Großherzogtum Baden, Ministerium des Innern,
Großherzogtum Hessen-Darmstadt, Ministerium des Innern,
Großherzogtum Oldenburg, Ministerium des Innern,
Reichsland Elsaß-Lothringen, Ministerium,
Freie und Hansastadt Hamburg, Senat.

Obwohl eigentlich nicht in den Rahmen des vorliegenden Buches gehörig, sei lediglich, um das Kapitel „die Elektrizität als Rechtsobjekt" nach dieser Richtung hin zu vervollständigen, kurz der Rechtsverhältnisse Erwähnung getan, welche sich auf die Elektrizität als Betriebsmittel für Beförderung von Menschen und Lasten beziehen, die elektrischen Bahnen.

Abgesehen von den vom Verband Deutscher Elektrotechniker herausgegebenen Sicherheitsregeln für elektrische Bahnanlagen, bezüglich welcher das von den Verbandsvorschriften überhaupt Gesagte zutrifft, ist es bei den weitgehenden Interessen, welche der Staat an den Eisenbahnen, als öffentlichen Verkehrseinrichtungen, naturgemäß nimmt, erklärlich, daß über diesen Gegenstand zahlreiche, im Wege der Gesetzgebung oder der Verwaltung entstandene Bestimmungen bestehen.

Die öffentlich-rechtliche Stellung der elektrischen Bahnen ist in Preußen durch das Gesetz über Kleinbahnen und Privatanschlußbahnen vom 28. Juli 1892 geregelt, zu welchem unterm 13. August 1898 eine Ausführungsanweisung nebst Betriebsvorschriften herausgegeben worden ist.

In Bayern existieren keine Gesetze oder Verordnungen, welche sich im besonderen auf elektrische Bahnen beziehen, dieselben richten sich daher in Hinsicht auf die Anlage und den Betrieb nach den für Eisenbahnen im allgemeinen geltenden Bestimmungen des Landrechtes. Maßgebend hierfür ist die Kgl. Verordnung vom 20. Juni 1855, die Erbauung von Eisenbahnen betreffend, mit der später erfolgten Abänderung, daß an Stelle des Staatsministeriums des Handels und der öffentlichen Arbeiten als Prüfungsbehörde für Bahnkonzessionen das Staatsministerium des Kgl. Hauses und des Äußeren getreten ist.

In Sachsen besteht zwar ebenfalls kein besonderes Gesetz für elektrische Bahnen, indes hat die Regierung mehrfach Anlaß genommen, zu einschlägigen Fragen grundsätzlich Stellung zu nehmen. So hat sich das Ministerium des Innern bereits in einer Verordnung vom 29. Dezember 1892 über die rechtliche Beurteilung der elektrischen Straßen-

bahnen ausgesprochen, ferner in einer Verordnung vom 7. Oktober 1897 die Frage näher erörtert, inwieweit zur Anlage einer elektrischen Straßenbahn auf Stadtgebiet das Einverständnis der beteiligten Gemeindeverwaltung erforderlich ist. Die Ressortverhältnisse in Eisenbahnangelegenheiten werden durch die allerhöchste Verordnung vom 26. Juni 1851 geregelt; weitere Verordnungen betreffen eine Reihe von eisenbahntechnischen Fragen: die technischen Vorarbeiten für den Bau von Privateisenbahnen, das Verfahren vor und nach der Genehmigung von Straßenbahnprojekten, die Benützung von Staatsstraßen zur Anlage elektrischer Leitungen, technische Bedingungen für elektrische Straßenbahnen usw.

Auch Württemberg entbehrt eines Gesetzes bezw. einer Verordnung über die elektrischen Straßenbahnen; die letzteren fallen, soweit sie dem öffentlichen Personen- oder Güterverkehr dienen, unter das Württembergische Eisenbahngesetz vom 18. April 1843. Staatliche Vorschriften für die Ausführung und den Betrieb der elektrischen Leitungen von Straßenbahnen enthält der an anderer Stelle bereits zitierte Erlaß vom 8. Februar 1895; hinsichtlich der Benützung der öffentlichen Wege für die Anlegung und den Betrieb elektrischer Nebeneisenbahnen ist auf die staatlichen Vorschriften vom 31. August 1898 zu verweisen.

In Baden kommen für die Anlage und den Betrieb von elektrischen Straßenbahnen die Badische Straßenpolizeiordnung vom 12. Mai 1882, sowie das Straßenbahngesetz vom 14. Juni 1884 in Frage; selbstverständlich ist, wie auch anderwärts bei Konzessionierung von Straßenbahnen Voraussetzung, daß die von der zuständigen Telegraphenverwaltung gemachten Auflagen erfüllt werden.

Im Großherzogtum Hessen kommt für den Bau und Betrieb von elektrischen Straßenbahnen das Gesetz betreffend die Nebenbahnen vom 29. Mai 1884 in Betracht, sowie die zu demselben ergangene Ausführungsverordnung vom 13. Juni 1885, den Bau und Betrieb von Nebenbahnen betreffend.

Hiermit sei die Anführung der wichtigsten für die Schwach- und Starkstromtechnik in Betracht kommenden Gesetze, Verordnungen und Erlasse beschlossen, obwohl deren noch eine große Menge existieren, welche jedoch alle mehr oder minder verwaltungstechnische Punkte betreffen; so beispielsweise die Nutzbarmachung der Reichstelegraphenanlagen bei Unglücksfällen, die Versicherungsgesetze, die Unfallverhütung, die Haftpflicht usw.

Eingehende Belehrungen hierüber vermittelt das vorzügliche Buch von Regierungsrat A. Wengler „Elektrizität und Recht im Deutschen Reiche“ (Leipzig 1900), welches eine sehr verdienstliche Zusammenstellung der in den verschiedensten Gesetz- und Verordnungsblättern verstreuten und darum oft schwer zugänglichen Literatur über diese Materie enthält. Der Vollständigkeit halber sei noch auf folgende Veröffentlichungen hingewiesen, welche die Elektrizität vom allgemeinrechtlichen Standpunkt behandeln:

Prof. F. Meili, „Die elektrischen Stark- und Schwachstromanlagen und die Gesetzgebung“. Zürich 1899.

A. Pfleghart, „Die Elektrizität als Rechtsobjekt“, I. Allgemeiner Teil. Straßburg 1901.

Prof. U. Pipia, „L'Elettricità nel Diritto“. Mailand 1900.

Druckfehlerverzeichnis.

S. 12 Zeile 2 v. o. lies Drehscheibe statt Dreherscheibe.
„ 13 „ 9 v. o. „ Drehscheibe „ Dreherscheibe.
„ 36 „ 11 v. u. „ Doppelsalz „ Doppelsatz.
„ 41 „ 6 v. u. „ kg/qcm „ kl/qcm.
„ 83 „ 6 v. o. „ Güteziffer „ Güterziffer.
„ 112 „ 2 v. o. ist hinter „gleicher“ einzuschieben „Stärke“.
„ 116 in Fig. 119 lies links oben B statt 5.
„ 119 „ „ 126 „ links k statt h.
„ 133 „ „ 165 „ oben a_1 b_1 a_1' b_1' statt a_1 b_2 a_1 b_1'
„ 133 „ „ 166 „ links oben a_1 „ a_1'
„ 133 „ „ 167 „ links unten b_1 a_1 b_1' „ b_1 a_1 b_1 und
rechts oben a_2' „ a_2
„ 134 „ „ 169 „ rechts oben $a_1' a_2 b_1' b_2$ „ a_1 a_2 b_1 b_2.
„ 134 „ „ 170 „ Mittelreihe rechts b'_2 „ b_2.
„ 135 „ „ 174 „ oben rechts a'_1 „ a_1
„ 144 „ „ 196 „ bei Leitungsgruppe III a_2 b_2 c_2 statt a b c
„ „ IV a_3 b_3 c_3 „ a_1 b_1 c_1
„ 145 „ „ 197 „ i_{c2} i_{c1} i_c statt i_{02} i_{01} i_0
„ 149 Zeile 10 v. o. lies Einphasen— statt Einpasen—
„ 190 in Fig 257 lies links h statt b.
„ 256 „ „ 379 „ u'' v'' „ u^2 v^2.

Meisenbach Riffarth & Co. in Leipzig.

STOKE-ON-TRENT
CITY
LIBRARIES
HORACE BARKS
Reference Library

60984 81800